



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

MĚŘIČ KAPACITY LI-ION A NIMH AKUMULÁTORŮ

CAPACITY METER FOR LI-ION AND NIMH ACCUMULATORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Pindák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Huták, Ph.D.

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Lukáš Pindák

ID: 195415

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Měřič kapacity Li-Ion a NiMH akumulátorů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Navrhněte zapojení měřiče kapacity malých Li-Ion a NiMH akumulátoru včetně DPS.
2. Zařízení realizujte, napište program pro měření a zobrazování parametrů akumulátoru.
3. Vlastnosti přístroje ověřte měřením.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] P. Vorel, P. Procházka: Řídicí členy v elektrických pohonech (skriptum VUT Brno)

[2] M. Patočka: Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 22.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Petr Huták, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je teoretický rozbor problematiky baterií, rozbor měřiče kapacity Li-ion a NiMH akumulátorů a jeho následné sestavení. Práce je tvořena třemi hlavními částmi. V první teoretické části je rozebrána problematika elektrochemických zdrojů proudu a jejich rozdělení, následuje stručný popis jejich nabíjení a závěrečné porovnání nejpoužívanějších baterií. Druhá část práce je zaměřena na praktický návrh měřiče kapacity. V této části je objasněna problematika měření napětí, proudu a teploty a určení jejich kapacity. V poslední části je popsán software zařízení. Navržené zařízení umožní měřit napětí a kapacitu Li-ion a NiMH článků při třech různých zatěžovacích režimech a po vybití je dokáže znovu nabít.

Klíčová slova

Baterie, Akumulátor, Měřič, Kapacita, Arduino, Li-ion, NiMH

Abstract

The goal of this bachelor thesis is primarily theoretical analysis of battery problems, analysis tester capacity of Li-ion and NiMH accumulators and its subsequent construction. The work consists of three main. The first part deals with the electrochemical current sources and their division, a brief description of their charging and final comparison commonly most used batteries. The second part of the thesis is already focused on the practical design of the capacity meter. In this section is explained the issue of measuring voltage, current and temperature of the battery and determination of their capacity. The last part describes the device software. The proposed devices allow measurement capacity Li-ion and NiMH cells at three different load modes and can be recharged after discharge.

Keywords

Battery, Accumulator, Meter, Capacity, Arduino, Li-ion, NiMH

Bibliografická citace:

PINĎÁK, Lukáš. *Měřič kapacity Li-Ion a NiMH akumulátorů* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117536>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Petr Huták.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Měříč kapacity Li-Ion a NiMH akumulátorů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **22. května 2019**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petrovi Hutákovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **22. května 2019**

.....
podpis autora

Obsah

1. Úvod	11
2. Elektrochemické zdroje elektrické energie	12
2.1. Primární články	12
2.2.1 Zinkové články	12
2.2.2 Alkalický burelový článek	13
2.2.3 Stříbro - oxidový článek	14
2.2.4 Lithiové primární články	15
2.2. Sekundární články	16
2.3.1 Olověné akumulátory	17
2.3.2 NiCd akumulátory	18
2.3.3 NiMH akumulátory	19
2.3.3.1 Nabíjení NiMH akumulátorů	19
2.3.4 Li-Ion akumulátory	20
2.3.4.1 Nabíjení Li-Ion akumulátorů	22
2.3. Porovnání vlastností baterií	24
3. Hardwarová část zařízení	25
3.1. Požadavky na zařízení	25
3.2. Výběr řídicí jednotky	25
3.3. Blokové schéma celkového zařízení	26
3.4. Schéma interface pro nabíjení a vybíjení akumulátoru spolu s měřením proudu a napětí	27
3.5. Návrh měření napětí baterie	27
3.6. Návrh měření proudu	29
3.7. Měření kapacity baterie	30
3.7.1 Výkonové dimenzování	32
3.8. Nabíjení baterií	34
3.9. Měření teploty baterie	34
3.10. Návrh desky plošných spojů	36
3.11. Použité komponenty v zařízení	37
4.11.1 Keypad shield	37

4.11.2	ADS1115 16 bit ADC	39
4.11.3	Připojení baterií	40
4.11.4	Orientační Led	41
4.	softwarová část zařízení	42
4.1.	Implementace softwaru	42
4.2.	Proudový regulátor	42
4.3.	Napěťová regulace	45
5.	ověření vlastností zařízení	46
5.1.	Vlastnosti a parametry zařízení	46
5.2.	Testování baterií	47
5.3.	Celkový vzhled zařízení	50
6.	Závěr	51
	Literatura	52
	Seznam použitých zkratk	55
	SEZNAM PŘÍLOH	56

Seznam obrázků

Obr. 2-1 Konstrukce zinko – uhlíkové baterie [6].....	13
Obr. 2-2 Konstrukce alkalické baterie [9]	14
Obr. 2-3 Konstrukce stříbro oxidového článku [11]	15
Obr. 2-4 Příklad baterie lithium – chlorid thionylu [33]	16
Obr. 2-5 Řez olověného akumulátoru [21].....	18
Obr. 2-6 Konstrukce NiCd akumulátoru – upraveno [21].....	19
Obr. 2-7 Příklad NiMH AA baterie	19
Obr. 2-8 Nabíjecí průběh NiMH baterií s ukončovacími metodami-upraveno [27]	20
Obr. 2-9 Princip činnosti Li-ion akumulátoru – upraveno [23]	22
Obr. 2-10 Nabíjecí charakteristika Li-Ion článku obsahující kobalt-upraveno [25]	23
Obr. 3-1 Platforma Arduino Uno	26
Obr. 3-2 Blokové schéma celkového zařízení.....	26
Obr. 3-3 Schéma interface pro nabíjení a vybíjení akumulátoru.....	27
Obr. 3-4 Diferenciální zapojení OZ	28
Obr. 3-5 Neinvertující zapojení OZ	29
Obr. 3-6 Invertující zapojení OZ.....	30
Obr. 3-7 Vybíjecí charakteristika Li-Ion baterie [32]	31
Obr. 3-8 Způsob uložení termistorů pro měření teploty baterií	35
Obr. 3-9 Schéma pro měření teploty	35
Obr. 3-10 Keypad shield	37
Obr. 3-11 Rozpoznání hodnoty tlačítek-LCD keypad -upraveno [34].....	38
Obr. 3-12 Externí 16 bitový AD převodník ADS1115	39
Obr. 3-13 Způsob propojení patič baterií	40
Obr. 4-1 Vývojový diagram	42
Obr. 4-2 Princip řízení.....	43
Obr. 4-3 Regulovaná soustava obecně	43
Obr. 4-4 Regulovaná soustava číselně	43
Obr. 4-5 Finální diskrétní regulátor proudu	45
Obr. 5-1 Testovaná Li-Ion baterie Panasonic NCR18650A.....	47
Obr. 5-2 Graf vybíjecí průběhy testované Li-ion baterie	47
Obr. 5-3 Testovaná NiMH AA baterie Varta	48
Obr. 5-4 Graf vybíjecí průběhy testované NiMH baterie.....	48
Obr. 5-5 Graf nabíjecí průběh testované Li-Ion baterie	49
Obr. 5-6 Graf nabíjecí průběh testované NiMH baterie	49
Obr. 5-7 Fotografie zařízení	50

Seznam tabulek

Tabulka 2-1 Porovnání vlastností Li-Ion článků [22].....	22
Tabulka 2-2 Porovnání parametrů potřebných pro nabíjení Li-Ion baterií [22]	23
Tabulka 2-3 Porovnání základních vlastností nejpoužívanějších baterií [15][28][5]24	
Tabulka 5-1 Specifikace navrhovaného zařízení	46

1. ÚVOD

Elektrochemické zdroje proudu mají pro nás v dnešní době obrovský význam a bez nich si snad nedokážeme představit každodenní život. V současné době hodně vyráběných zařízení využívá nabíjecí či nenabíjecí baterie, mají tedy rozmanité možnosti použití.

Mezi jejich výhody patří: vysoká účinnost, bezhlučnost, velké rozmezí dodávaných výkonů a velký výběr rozměrů a typů článku a také cenová dostupnost. Za nevýhody se považuje: nešetrnost k životnímu prostředí (baterie obsahují někdy i vzácné kovy, jejichž těžba ničí přírodu), údržba zařízení, kdy musíme vybitou baterii vyměnit nebo v případě nabíjecích baterií ji nabít, nebo při špatném používání určitého typu baterií může dojít k hoření, dokonce i k explozi.

V mnoha situacích chceme ověřit kapacitu baterie, proto je cílem této práce navrhnout zařízení umožňující změřit kapacitu baterií.

Tato práce se zabývá teoretickým rozбором elektrochemických zdrojů energie, a také hlavně pojednává o praktickém návrhu zařízení a jeho následném sestavení. Teoretická část pojednává o rozdělení a o popisu nejpoužívanějších zdrojů energie ať už nenabíjecích či nabíjecích. V případě nabíjecích baterií, které tester měří, je zde popsán způsob a vlastnosti jejich nabíjení. Na konci teoretické části je orientační tabulka, která tyto základní elektrochemické zdroje energie porovnává.

Druhá část práce je zaměřena na praktický návrh měřiče kapacity. Řídící jednotkou je platforma Arduino Uno. Dále je v této části rozebráno schéma měřicího a výkonového interface, který obsahuje nabíjecí a vybíjecí obvody baterie a obvody pro snímání napětí, proudu a teploty. Je zde uveden podrobný návrh těchto obvodů.

Ve třetí a zároveň v poslední části je popsána softwarová část zařízení, která obsahuje vývojový diagram, podle kterého je napsán kód pro řídicí jednotku, dále obsahuje proudovou a napěťovou regulaci (omezení). Navržené zařízení umožňuje měřit napětí a kapacitu Li-ion a NiMH článků při třech různých zatěžovacích režimech a po vybití je dokáže nabít.

2. ELEKTROCHEMICKÉ ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE

Elektrochemické zdroje elektrické energie jsou zařízení, která přeměňují chemickou energii na energii elektrickou přímou metodou. Základem tohoto zařízení je galvanický článek skládající se ze dvou elektrod, kladné a záporné. Mezi elektrody je elektrolyt. Elektrolyt je látka, která je schopná se v roztoku štěpit na anionty a ionty, které způsobují vedení proudu v článku. Poslední základní částí je izolátor zabraňující elektrickému zkratu elektrod opačné polarity, tuto část nazýváme separátor. [3]

Každý článek poskytuje malé napětí (obvykle od 0,5 V do 3,7 V, napětí závisí na rozdílu elektrochemických potenciálů použitých kovů) a je-li potřeba většího napětí, články spojujeme za sebou (sériově), tím pádem se nám napětí článků sčítá. Sestavením jednoho či více spojených článků vyrábíme baterie. Podle principu a funkce se galvanické články dělí na primární články (baterie), které jsou na jedno vybití a na sekundární články (nabíjecí články/baterie), které jsou na více vybití. [1]

2.1. Primární články

Primární články neboli články (baterie) na jedno vybití disponují pouze omezeným počtem aktivních materiálů (reaktantů), podílejících se na elektrochemických reakcích. Po jejich spotřebování (vybití) tyto aktivní materiály zanikají (ztrácejí svou funkčnost) a nelze je nijak obnovit (nabít). [3]

Mezi výhody primárních článků patří: dlouhá skladovací doba a okamžitá schopnost dodávat energii. Díky těmto výhodám primární články nalézají uplatnění v oblastech, kde nabíjení je nepraktické nebo dokonce nemožné, například v určitých operacích v armádě nebo při záchranných akcích. [5]

V následujících kapitolách bude krátce pojednáno o základních typech primárních článků.

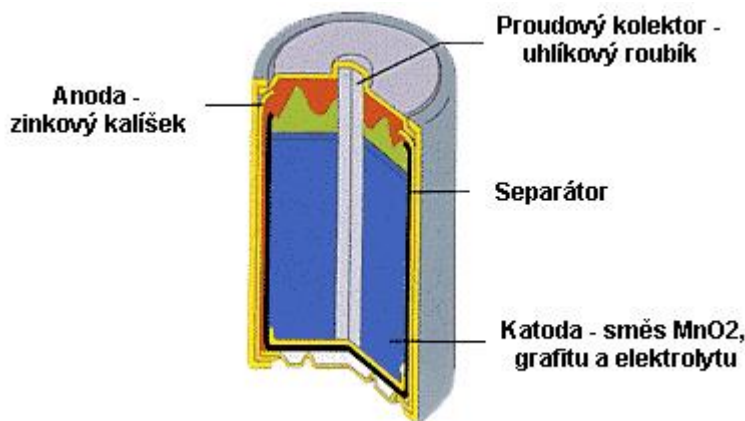
2.2.1 Zinkové články

Vychází z tzv. Leclanchéova článku. Skládá se z kladné elektrody, kterou tvoří směs oxidu manganičitého (MnO_2 -burel) s přidavkem grafitu a acetylenových sazí. Navíc

kladná elektroda obsahuje elektrolyt, který je tvořen roztokem chloridu amonného nebo chloridu zinečnatého. [3]

Záporná elektroda (anoda) je tvořena zinkovým kalíškem a zároveň tvoří vnější plášť článku. Separátorem bývá obvykle papír se zvýšenou mechanickou pevností. Nevýhodou této konstrukce je, že může dojít k vytečení elektrolytu a způsobit korozi, protože zinková elektroda, která tvoří plášť článku se může během vybíjení nerovnoměrně rozpouštět. Aby se zabránilo vytečením elektrolytu, tak býval do separátoru přidáván toxický chlorid rtuťnatý, který v reakci se zinkem vytvořil na vnitřních stěnách kalíšku rtuťovou vrstvu, která dál elektrolyt nepropustila. Jelikož je chlorid rtuťnatý vysoce toxický, proto je dnes jeho použití zakázané a používají se jiné kovy například gallium nebo cín.

Jmenovité napětí článku je 1,5 V. Jejich velkou výhodou je nízká cena, díky které se baterie z tohoto článku hojně používají. V porovnání s jinými druhy baterií (zinko-chloridové, alkalické) nedosahují takové kapacity a schopnosti dodávat větší proud. Díky těmto vlastnostem se používají pro méně náročné použití například do hodin a budíků nebo rádií. Články se vyrábí v různých provedeních, například ve velikostech AAA (mikrotužková baterie), AA (tužková baterie), ale i také jako 9 V baterie. Často jsou označovány jako „Heavy Duty“. [6][7]



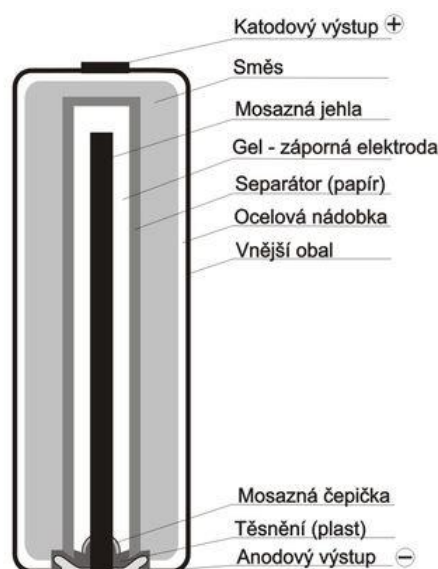
Obr. 2-1 Konstrukce zinko – uhlíkové baterie [6]

2.2.2 Alkalický burelový článek

Elektrody alkalických článků jsou vyráběny ze stejných chemických sloučenin jako články Leclanché. Kladná elektroda je tvořena oxidem manganičitým (MnO₂) a záporná elektroda je ze zinku. Rozdíl je opět v použitém elektrolytu. Ten je v tomto případě tvořen hydroxidem draselným (KOH). Konstrukčně je článek tvořen ocelovou nádobkou tvořící kladnou elektrodu, do které jsou nalisovány směsi MnO₂ a grafitu. Záporná elektroda je

tvořena válečkem, ve které je nalisovaný zinkový prášek. Protože je článek hermeticky uzavřený, do záporné elektrody je vložena jehla (často mosazná), nazývána proudovým kolektorem, která slouží jako záporný sběrač a vývod. Díky rozdílnosti vnějšího konstrukčního provedení se zde na rozdíl od zinko - uhlíkových článků nemůže projevit unikání elektrolytu. Mezi elektrody se nachází separátor tvořen například papírem. [9]

Alkalické prostředí nám umožňuje větší využití surovin, hlavně MnO_2 , díky nimž poskytují alkalické baterie mnohem větší kapacitu než baterie zinko - uhlíkové. Další velkou výhodou je dlouhá skladovatelnost baterií, díky nízkému efektu samovybíjení. Použití mají podobné jako zinko – uhlíkové baterie, kdy využíváme lepších vlastností než u baterií založených na článku zinko - uhlíkovém. Mezi jejich nevýhody patří špatná snášenlivost nízkých teplot, protože jejich kapacita klesá se zmenšující se teplotou. Jmenovité napětí článku je 1,5V. [10][15]



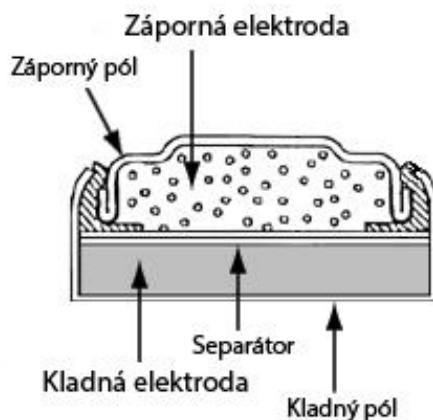
Obr. 2-2 Konstrukce alkalické baterie [9]

2.2.3 Stříbro - oxidový článek

Kladná elektroda stříbro - oxidového článku je tvořena oxidem stříbrným, záporná elektroda je ze zinku. Elektrolytem je stejně jako u alkalického článku hydroxid draselný (KOH). Baterie ze stříbrno - oxidového článku se používají tam, kde je potřeba malých kompaktních zdrojů, využívajících vysokou objemovou hustotu baterie. [15]

Dalšími výhodnými vlastnostmi jsou: vysoká kapacita baterie, dlouhá skladovatelnost a plochá vybíjecí křivka. Jejich nevýhodou je, že stříbro je poměrně drahý materiál, takže se baterie vyrábí v malých provedeních (většinou provedení tzv. knoflíkové baterie),

které se využívají v například: kalkulačkách, kardiostimulátorech a hodinkách. Jmenovité napětí baterie je 1,6 V. [7][11]



Obr. 2-3 Konstrukce stříbro oxidového článku [11]

2.2.4 Lithiové primární články

Lithiové primární články se vyrábějí s mnoha různými oxidačními látkami, které se používají pro kladnou elektrodu a s různými chemickými sloučeninami používaných pro elektrolyt. Zápornou elektrodu tvoří lithium, které má velký elektrochemický potenciál, také je to jeden z nejlehčích a nejvíce reagujících kovů. Podle použitých látek se také liší jmenovité napětí článku. Lithium je poměrně drahé a má špatný vliv na životní prostředí, hlavně jeho těžba. [15]

Nejčastěji používaná chemická látka pro výrobu kladné elektrody je oxid manganičitý (MnO_2). Tyto články dosahuje nižší kapacity než ostatní typy lithiových článků, ale jsou cenově výhodné a mají dlouhou skladovatelnost.

Baterie z těchto článků nachází své uplatnění v zařízení využívající knoflíkové baterie tedy například: hodinky, teploměry, dálková ovládání od aut, základní desky počítače a notebooků, snímače, zdravotnické přístroje a kamery.

Jmenovité napětí článku jsou 3V. [12][13]

Dalším používaným typem jsou lithiové články s disulfidem železa, který je používán pro kladnou elektrodu. Mezi elektrody se nachází elektrolyt, který je zde tvořen rozpuštěnou solí v organickém rozpouštědle. Jsou navrženy tak, aby nahrazovaly zinkové a alkalické baterie, protože jmenovité napětí tohoto článku je stejné jako u zinkových a alkalických baterií, tedy 1,5V.

Výhody použití lithiových baterií s kladnou elektrodou disulfidu železa jsou: vyšší kapacita, menší váha, schopnost dodávat větší proudy (může být omezena PTC

termistorem, který při dosažení určité vyšší teploty zamezí dodávání tak vysokého proudu z důvodu přehřátí článku a možné exploze), dlouhá skladovací doba (10 let) – nízký samovybíjecí efekt. Jejich použití je v zařízeních využívající baterie typů AA či AAA například dálkové ovladače, hračky, hodiny, teploměry atd. [14]

Články lithium – chlorid thionylu jsou tvořeny kladnou kapalnou elektrodou ze směsi uhlíku a chloridu thionyla. Záporná elektroda je tvořena lithiovou fólií. Obě elektrody jsou v organickém elektrolytu, který obsahuje tetrahydridohlinitan lithný. Články jsou drahé a jejich výroba musí být dokonalá, jinak by se mohly přehřívat, nebo dokonce začít hořet, proto se baterie vyrábí v hermeticky uzavřených konstrukcích.

Výhodou těchto baterií, je že poskytují nejvyšší energetickou hustotu ze všech popsaných primárních článků, takže disponují velkou kapacitou a velmi dlouhou dobou skladovatelnosti (10-20 let). Také dokážou pracovat v širokém teplotním rozsahu od -60 °C do + 85 °C. [15][16]

Jejich vybíjecí křivka je velice plochá po dlouhý čas. Využívají se například v medicíně v kardiostimulátorech. Jmenovité napětí baterie je 3,6 V. [15]



Obr. 2-4 Příklad baterie lithium – chlorid thionylu [33]

2.2. Sekundární články

Sekundární články neboli akumulátory či nabíjitelné články obsahují stejně jako primární články omezené množství aktivních materiálů (reaktantů), které se účastní na elektrochemických reakcích. Po jejich spotřebování (tím rozumíme vybití) tyto aktivní materiály zanikají (ztrácejí svou funkčnost). Lze je však znovu převést vnějším elektrickým proudem v aktivní materiály. Vnější elektrický proud dodává elektrickou energii do článku, která se v něm akumuluje ve formě chemické energie, proto je nazýváme akumulátory. [3]

Napětí jednoho článku je malé (1,2 – 3,7 V podle typu článku), proto se akumulátorové baterie sestavují z článků. Většina akumulátoru je určena pro stovky až tisíce nabíjecích a vybíjecích cyklů. Počet cyklů (životnost), je jedním z parametrů určující daný akumulátor. Druhů sekundárních článků je opět velké množství. Liší se podle použitých chemických sloučenin pro elektrody, nebo pro elektrolyt. [4]

Dále bude v práci pojednáno o základních typech sekundárních článků.

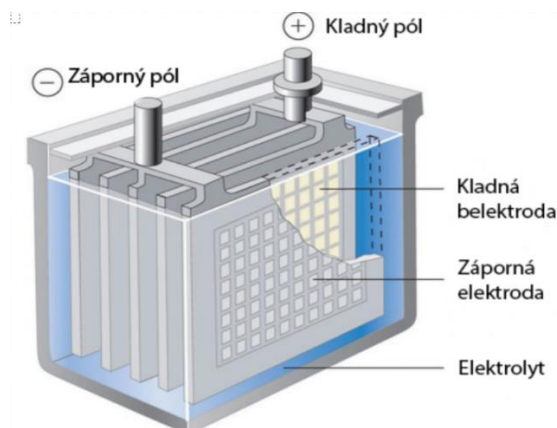
2.3.1 Olověné akumulátory

Základním materiálem pro elektrody je olovo. Elektrody mohou být například mřížkové (používané v autobateriích). Tyto mřížkové elektrody se zhotovují z olova s přídavkem jiných kovů (z důvodu lepší mechanické pevnosti a lepší elektrické vlastnosti) nejčastěji antimonem, vápníkem nebo cínem. Zlepšuje se s tím odolnost elektrod v cyklech. Nevýhodou je větší samovybití akumulátoru. Elektrolytem je zředěná kyselina sírová. Separátor zabráňující elektrickému zkratu je vyroben z polyethylenu. Konstrukce akumulátoru je tvořena polypropylenem, který je lehký, silný, vydrží teploty pod bodem mrazu a nereaguje s kyselinou sírovou. [17] [18] [15]

Většina olověných akumulátorů vyžadují údržbu, protože z akumulátorů uniká kyslík a vodík, které je potom potřeba do akumulátorů doplnit zpátky ve formě vody a udržovat tedy doporučenou hladinu elektrolytu. Na dolévání se musí použít voda destilovaná, tedy zbavená minerálních látek. [3]

Také existují bezúdržbové akumulátory, často nazývané jako zapouzdřené, které oplývají schopností reakce kyslíku a vodíku za vzniku vody, čímž se zamezí vysušení elektrolytu. Při nabíjení bychom měli dodržovat správné hodnoty napětí. Úplné nabití olověných akumulátorů trvá 14-16 hodin (v závislosti na vybití). Skladovat baterie bychom měli vždy plně nabitě. Nízká hodnota nabíjecího napětí a skladovatelnost vybitých akumulátorů způsobuje sulfataci (jev při kterém vzniká na elektrodách síran olovnatý), která snižuje kapacitu akumulátorů. Vysoká hodnota nabíjecího napětí způsobuje korozi elektrod. Mezi výhody olověných akumulátorů patří: schopnost dodávat vysoké vybíjecí proudy, pomalé samovybití, snadná výroba. Nevýhody: vysoká hmotnost, průměrný počet cyklů, pomalé nabíjení, pro skladování musí být plně nabit, nešetrnost k životnímu prostředí. Používá se především v automobilech, díky vlastnosti

dodat vysokých proudů při startování, další využití jako trakční baterie či použití v UPS. Jmenovité napětí článku: 2 V. [17]



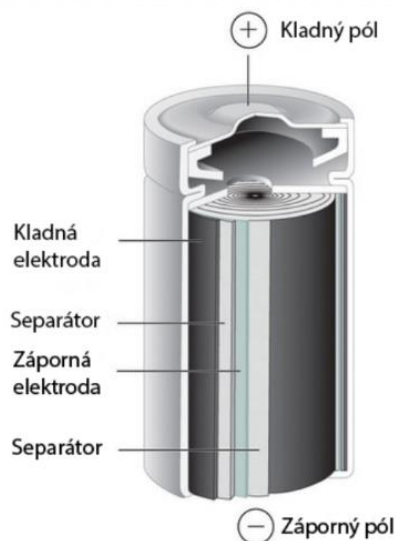
Obr. 2-5 Řez olověného akumulátoru [21]

2.3.2 NiCd akumulátory

Celým názvem nikl - kadmiový akumulátor. Kladnou elektrodu tvoří hydroxid niklu. Zápornou elektrodu tvoří kadmium, které je velice toxické a je jedním z důvodů proč se čím dál méně vyrábějí. Elektrolytem je hydroxid draselný (KOH) rozpuštěný ve vodě, který je nasáklý v separátoru a obou elektrodách. Separátor oddělující elektrody je používán například nylonový separátor. [19]

Typickým negativním jevem pro tento druh baterií je paměťový efekt. Tento jev vzniká při neúplném opakovaném (min. 50 až 100x) vybíjení, na stejnou (malou) úroveň. Podstatou jevu jsou změny krystalové struktury záporné elektrody. Paměťový efekt lze odstranit úplným vybitím akumulátoru. Mezi výhody NiCd akumulátoru patří: vysoká životnost, možnost odběru velmi vysokých proudů, rychlé nabíjení, velký rozsah pracovních teplot (při vybíjení), plochá vybíjecí křivka, skladování ve vybitém stavu a dobrá mechanická odolnost. K nevýhodám patří: získaná menší měrná energie vztažená na hmotnost nebo objem, plochá vybíjecí křivka ke konci prudce klesá (nemožnost zjistit podle napětí zbývající kapacitu), obsahuje toxickou látku kadmium, paměťový efekt. [2]

Díky jeho vlastnostem se používá např. pro elektrické nářadí, v RC modelech, elektrických holicích strojcích. Jmenovité napětí článku: 1,2 V. [20]



Obr. 2-6 Konstrukce NiCd akumulátoru – upraveno [21]

2.3.3 NiMH akumulátory

Vývoj nikl-metal hydridových akumulátorů byl zahájen hlavně z důvodů požadavků na náhradu toxického kadmia. [2]

Zápornou elektrodu tvoří kovová slitina (např. lanthan – nikl), která je schopná absorbovat vodík. Mají téměř dvojnásobnou energetickou hustotu, jak akumulátory NiCd. Kladná elektroda je tvořena práškovým niklem, který je při nabíjení měněn na hydroxid niklu. Elektrolytem je stejně jako u NiCd akumulátoru, hydroxid draselný. [19]

S porovnáním NiCd mají NiMH akumulátory větší kapacitu získanou z článku shodných rozměrů a jsou více šetrnější k životnímu prostředí. K nevýhodám řadíme: menší mechanická odolnost a menší rozsah pracovních teplot, větší samovybíjení, složitější nabíjení a vyšší cena. Použití je stejné jako u NiCd, kdy navíc využíváme větší energii. Dalším použitím např. ve fotoaparátech videokamerách. Jmenovité napětí na článek: 1,2 V. [2]

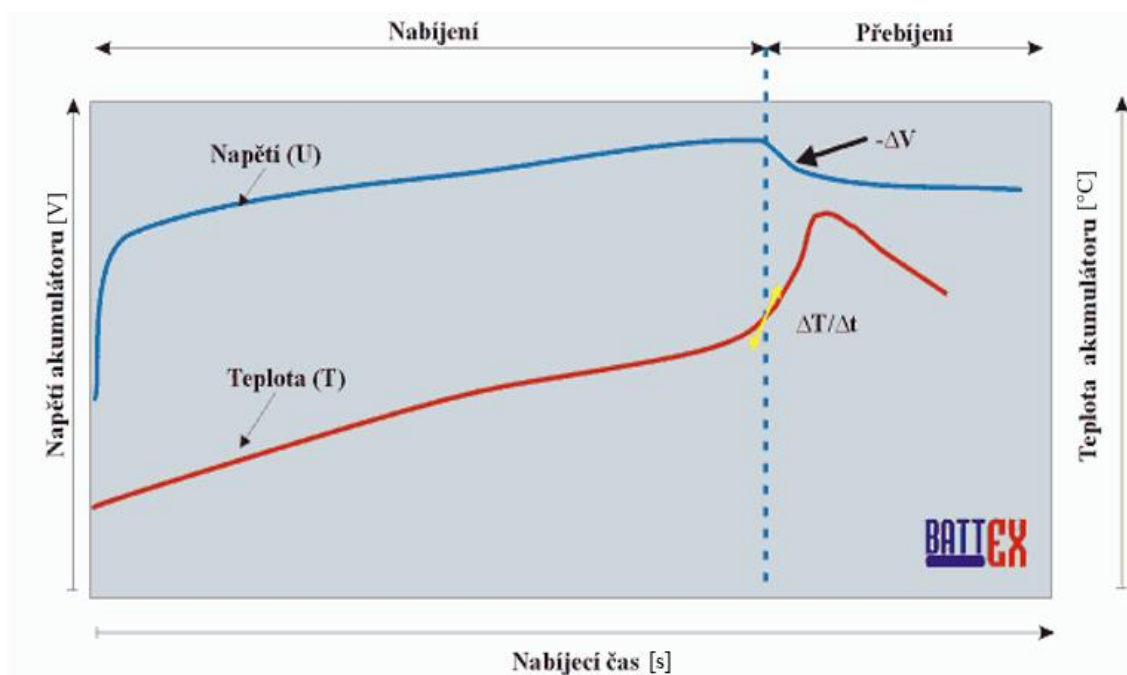


Obr. 2-7 Příklad NiMH AA baterie

2.3.3.1 Nabíjení NiMH akumulátorů

Nabíjení NiCd a NiMH akumulátorů je vcelku podobné, ale nabíjecí proces pro NiMH je složitější. I když je nabíjení podobné, nelze však s nabíječkou určenou pro NiCd baterie

nabíjet NiMH baterie a obráceně (lze použít pouze inteligentní nabíječky, které samy poznají, o jakou baterii se jedná, nebo si zde můžeme druh baterie nastavit). Důvodem je rozdílný nabíjecí teplotní průběh. Při nabíjení NiMH baterií roste teplota, zatímco u nabíjení NiCd baterií je teplota konstantní. Podle velikosti nabíjecího proudu se rozlišují způsoby ukončení nabíjení. Při nabíjecích proudech větších než 0,5 C je vhodná metoda $-\Delta V$ (- delta V). Nabíjení se ukončí, pokud je pokles napětí větší jak 5 mV na článek (tato hodnota platí pouze pro NiMH baterie). Pro nabíjecí proudy menší než 0,5 C se může použít metoda sledující změnu teploty v čase. Tato metoda se označuje jako $\Delta T/\Delta t$. Další často používanou metodou je metoda TCO, která vypne nabíjení při dosažení předem nastavené teploty. Dá se také použít metoda časového ukončení, která po dosažení předem stanoveného času vypne nabíjení. Nevýhodou této metody je, že pokud vložíme do nabíječky využívající tuto metodu baterii vybitou z půlky a nabíječka si bude myslet, že má plně vybitou baterii, tak ji bude z půlky nabíjecího času přebíjet, čímž baterii škodíme. Nejlepším řešením je tedy zkombinovat teplotní metody ($\Delta T/\Delta t$ a TCO) spolu s metodou hlídání napětí ($-\Delta V$). [2][26]



Obr. 2-8 Nabíjecí průběh NiMH baterií s ukončovacími metodami-upraveno [27]

2.3.4 Li-Ion akumulátory

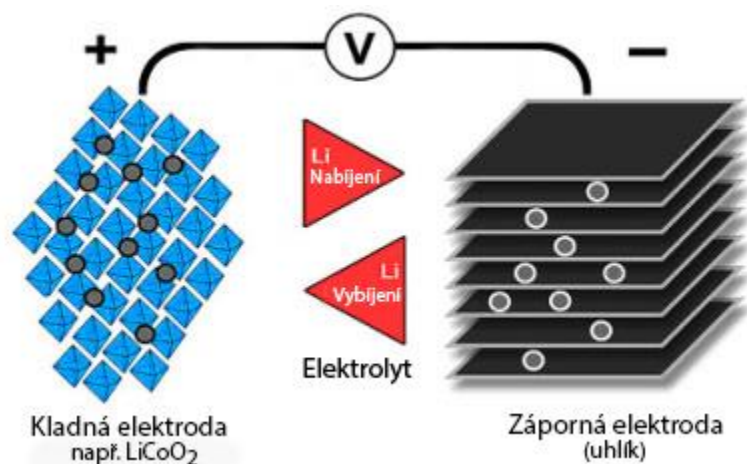
Netrvalo dlouho po objevení primárních lithiových článků a na svět přišly dobíjecí lithium-iontové články. Mezi chemické sloučeniny tvořící kladnou elektrodu řadíme:

oxid lithný kobaltu (LiCoO_2), oxid lithný manganu (LiMn_2O_4), lithium železo fosfát (LiFePO_4), lithium nikl mangan oxid kobaltu (LiNiMnCoO_2), lithium titanát ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) a lithium nikl kobalt oxid hlinitý (LiNiCoAlO_2). Podle použitých sloučenin mají články různé vlastnosti: jmenovité napětí, kapacitu, nebo se liší v požadavcích při nabíjení. [22]

Porovnání těchto chemických sloučenin je v tabulce 2-1. Záporná elektroda je tvořena ze směsi obsahující uhlík a další látky např. lithium. Elektrolyt je tvořen solí lithia a většinou je tvořen v tekutém stavu. [19]

Elektrolyt může být v pevném stavu tzv. polymerovém stavu, kdy se články používající tento druh elektrolytu nazývají Li-pol (Lithium-polymerové) články. Principem Li-Ion článků je přenos lithiových iontů mezi elektrodami. Směr těchto iontů je dán činností akumulátoru, při vybíjení putují ionty ze záporné elektrody do kladné a při nabíjení je tomu naopak. Výhody Li-Ion akumulátorů jsou: vysoká kapacita, vysoká energie získaná z článku, vysoké napětí získané z článku, nízké samovybíjení, nízká hmotnost, větší počet cyklů. Nevýhody jsou: menší teplotní pracovní rozsah, velký vnitřní odpor. Při špatné manipulaci (zkratováním vývodů, vystavením vysokým teplotám, poškození baterie a nevhodným nabíjením) může dojít k explozi akumulátoru. [23] [2]

Li-Ion akumulátory mají široké možnosti použití díky svým vlastnostem. Díky vysoké kapacitě, energii a nízké hmotnosti jsou používány např. u přenosných zařízení jako mobilní telefon, notebook, tablet či v akumulátorech elektromobilů. Li-ion akumulátory se vyrábí v mnoha konstrukčních variantách, od plochých akumulátorů do mobilních telefonů, tak ve válcovém tvaru označovaném jako „18650“, z kterého dále můžou být složeny další akumulátory jak pro notebooky, pracovního nářadí či elektromobily. Jmenovité napětí článku se liší podle použitých chemických sloučeninách v elektrodách, nejčastěji jsou to hodnoty 3,6 V nebo 3,7 V. [23]



Obr. 2-9 Princip činnosti Li-ion akumulátoru – upraveno [23]

Tabulka 2-1 Porovnání vlastností Li-Ion článků [22]

Chemická sloučenina (Kladná elektroda)	Jmenovité napětí článku [V]	Hustota energie [Wh/kg]	Počet cyklů* [-]	Vybíjecí proud [C]
LiCoO ₂	3,6	150–200	500–1000	1
LiMn ₂ O ₄	3,7	100–150	300–700	1-30
LiNiMnCoO ₂	3,6 - 3,7	150-220	1000–2000	1-2
LiFePO ₄	3,2 - 3,3	90–120	1000–2000	1-40
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	2,4	50–80	3,000–7,000	10-30
LiNiCoAlO ₂	3,6	200-260	500	1

*záleží na hloubce vybití a provozní teplotě

2.3.4.1 Nabíjení Li-Ion akumulátorů

Nabíjecí algoritmus používaný u Li-ion akumulátorů se nazývá CCCV (Constant Current Constant Voltage). Znamená to, že je potřeba nabíjet nejdříve konstantním proudem a poté konstantním napětím, které musíme udržovat v toleranci ± 1 %. Pokud by bylo nabíjecí napětí nižší, článek se nenabije na svou plnou kapacitu a je-li naopak nabíjecí napětí vyšší, nenávratně poškodí článek. Plné nabití nastává, když článek dosáhne konečného nabíjecího napětí a nabíjecí proud klesne na předem nastavenou hodnotu.

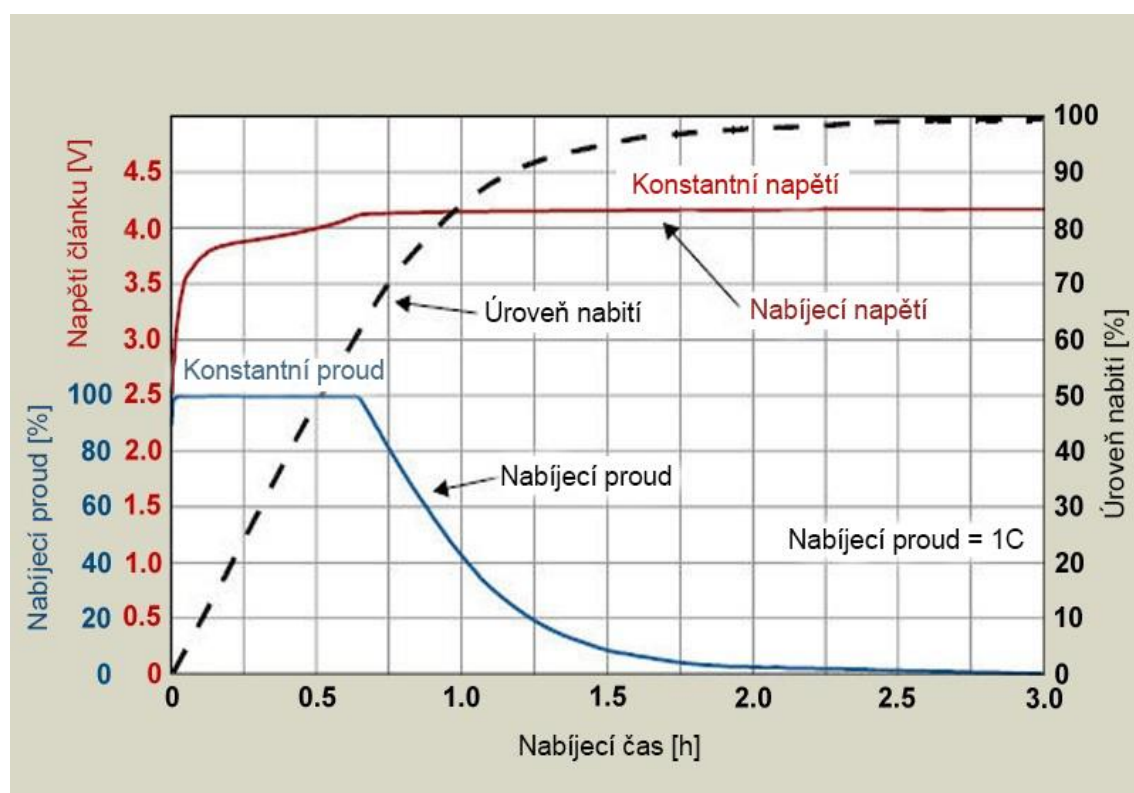
Vzhledem k velkému počtu druhů Li-ion akumulátorů, musíme přesně vědět který typ chceme nabíjet, protože se články liší nabíjecím proudem, konečným nabíjecím napětím a také důležitým parametrem minimální hodnotou napětí článku, pod tuto hodnotu nesmíme vybit článek a také musíme dodržovat teplotu doporučenou výrobcem. Přehled

těchto údajů je v tabulce 2-1 pro základní chemické sloučeniny používané pro kladnou elektrodu. [19] [25]

Tabulka 2-2 Porovnání parametrů potřebných pro nabíjení Li-Ion baterií [22]

Chemická sloučenina (Kladná elektroda)	Nabíjecí proud [C]	Konečné nabíjecí napětí [V]	Minimální napětí článku [V]
LiCoO ₂	0,7-1	4,2	3
LiMn ₂ O ₄	0,7-1	4,2	3
LiNiMnCoO ₂	0,7-1	4,2 - 4,3	3
LiFePO ₄	1	3,65	2,5
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	1-5	2,85	1,8
LiNiCoAlO ₂	0,7	4,2	3

Pro články obsahující kobalt v kladné elektrodě platí následující nabíjecí charakteristika.



Obr. 2-10 Nabíjecí charakteristika Li-Ion článku obsahující kobalt-upraveno [25]

2.3. Porovnání vlastností baterií

Závěrem téhle kapitoly je porovnání nejpoužívanějších baterií, jak už nabíjecích či nenabíjecích. Porovnání je v následující tabulce. Jedná se pouze o informativní tabulku a vzhledem k velmi rychle vyvíjecích se chemických sloučenin, nemusí tyto hodnoty být aktuální. V tabulce jsou druhy baterií, ale i každý druh baterie se liší v závislosti na použitých chemických sloučeninách pro elektrody nebo i elektrolyt, takže jsou v tabulce použity většinou minimální a maximální hodnoty.

Tabulka 2-3 Porovnání základních vlastností nejpoužívanějších baterií [15][28][5]

Druh baterie	Typ baterie	Jmenovité napětí článku [V]	Hustota energie [Wh/kg]	Samovybíjení [%/měsíc]	Počet cyklů* [-]	Kapacita „AA“ článku [mAh]
Zinkové	Nenabíjecí	1,5	65-130	0,3-0,4	X	400-1700
Alkalické	Nenabíjecí	1,5	200	0,2	X	1800-2600
Lithiové	Nenabíjecí	3	200-300	0,1	X	2500-3400
Olověné	Nabíjecí	2	30-50	5	200-300	X
NiCd	Nabíjecí	1,2	40-80	20	1000	600-1000
NiMH	Nabíjecí	1,2	60-120	30	300-500	800-2700
Li-ion	Nabíjecí	2,4-3,7 (typicky 3,6)	100-250	3-5	500-2000	X

* záleží na hloubce vybití a provozní teplotě

3. HARDWAROVÁ ČÁST ZAŘÍZENÍ

Předmětem této kapitoly je popsat a rozebrat navrhované zařízení.

3.1. Požadavky na zařízení

Zadané požadavky na zařízení

- měření veličin (napětí, proud a teplota) s určitou přesností
- změření kapacity a energie baterií
- zobrazení výsledných hodnot na displeji či na počítači

Doplňující požadavky

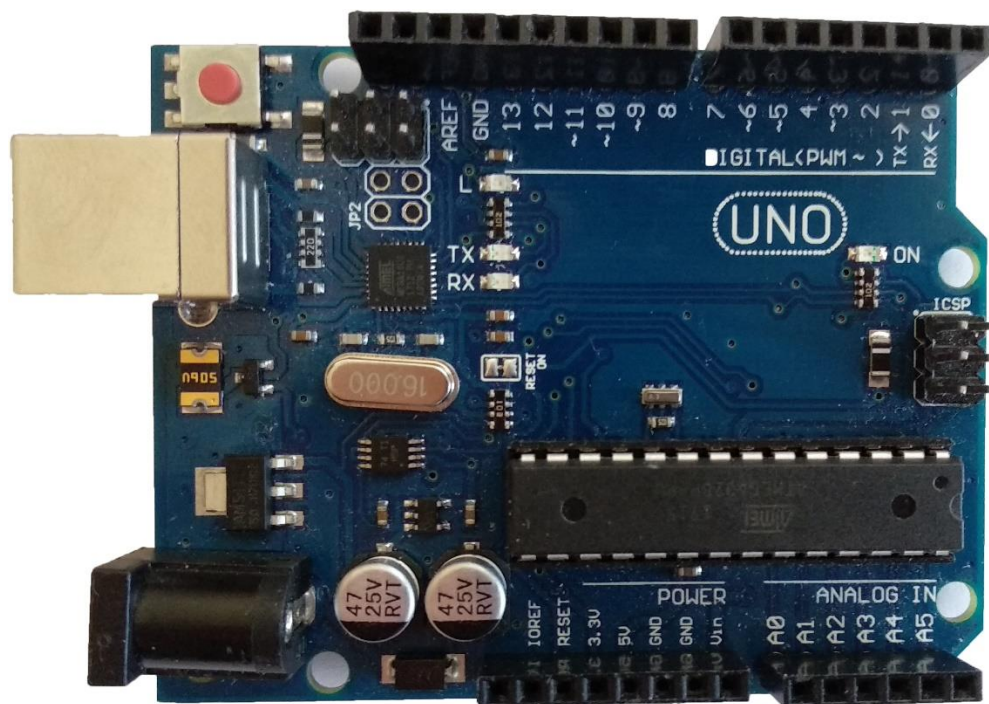
- nabíjení NiMH baterií
- měření dvoučlankových Li-Ion a modelářských Li-pol (7,4 V)

3.2. Výběr řídicí jednotky

Řídicí jednotkou celého zařízení je Arduino což je open-source elektronická platforma nebo-li programovatelný mikropočítač. Je založen na mikroprocesorech ATMega vyvíjené firmou Atmel. Modelů Arduina je velké množství a liší se počtem pinů (vstupů a výstupů), mikroprocesorem, velikostí paměti, AD převodníkem a různými integrovanými komponenty. [29]

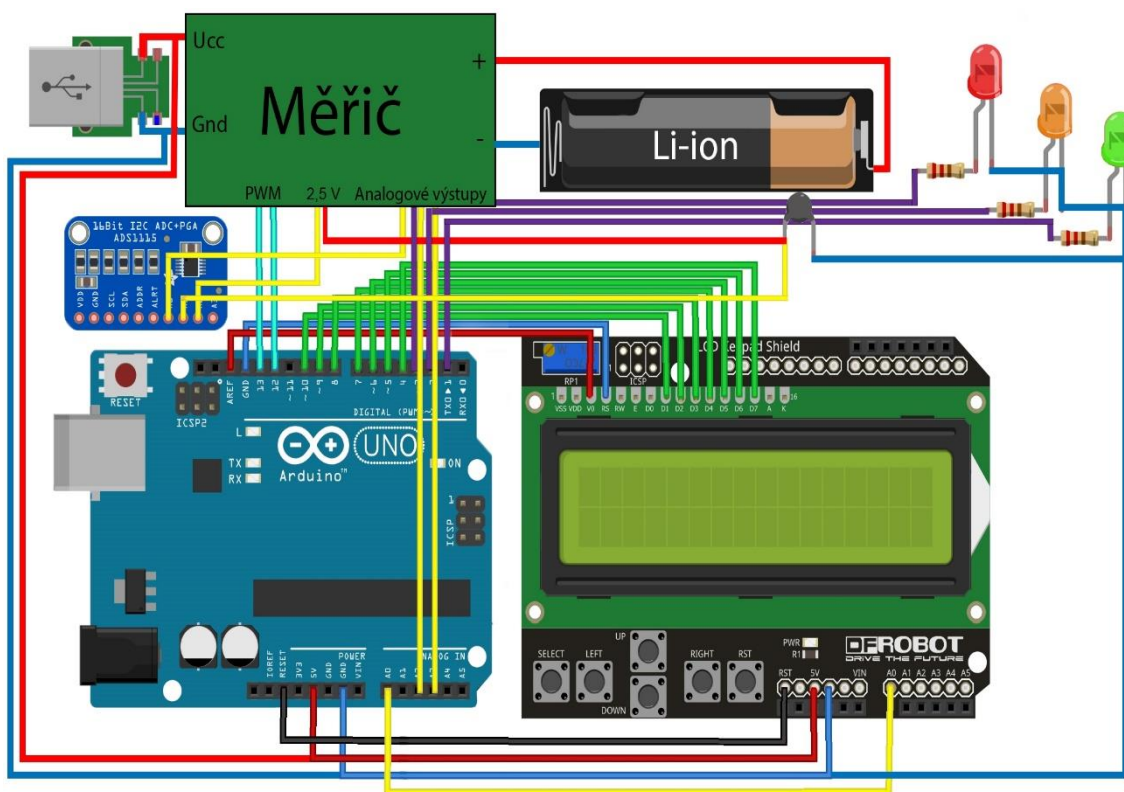
Pro zhotovení zařízení je použitý model Uno, protože jsem jeho vlastníkem. Jeho výhoda spočívá v poměrně malé velikosti, přijatelné ceně a dostatečným počtem pinů pro navrhované zařízení.

V případě rozšíření zařízení o další funkce, či přidání možnosti měřit nebo nabíjet více baterií zároveň, by se muselo přejít k vyššímu modelu s větším množstvím pinů, například k modelu Mega 2560.



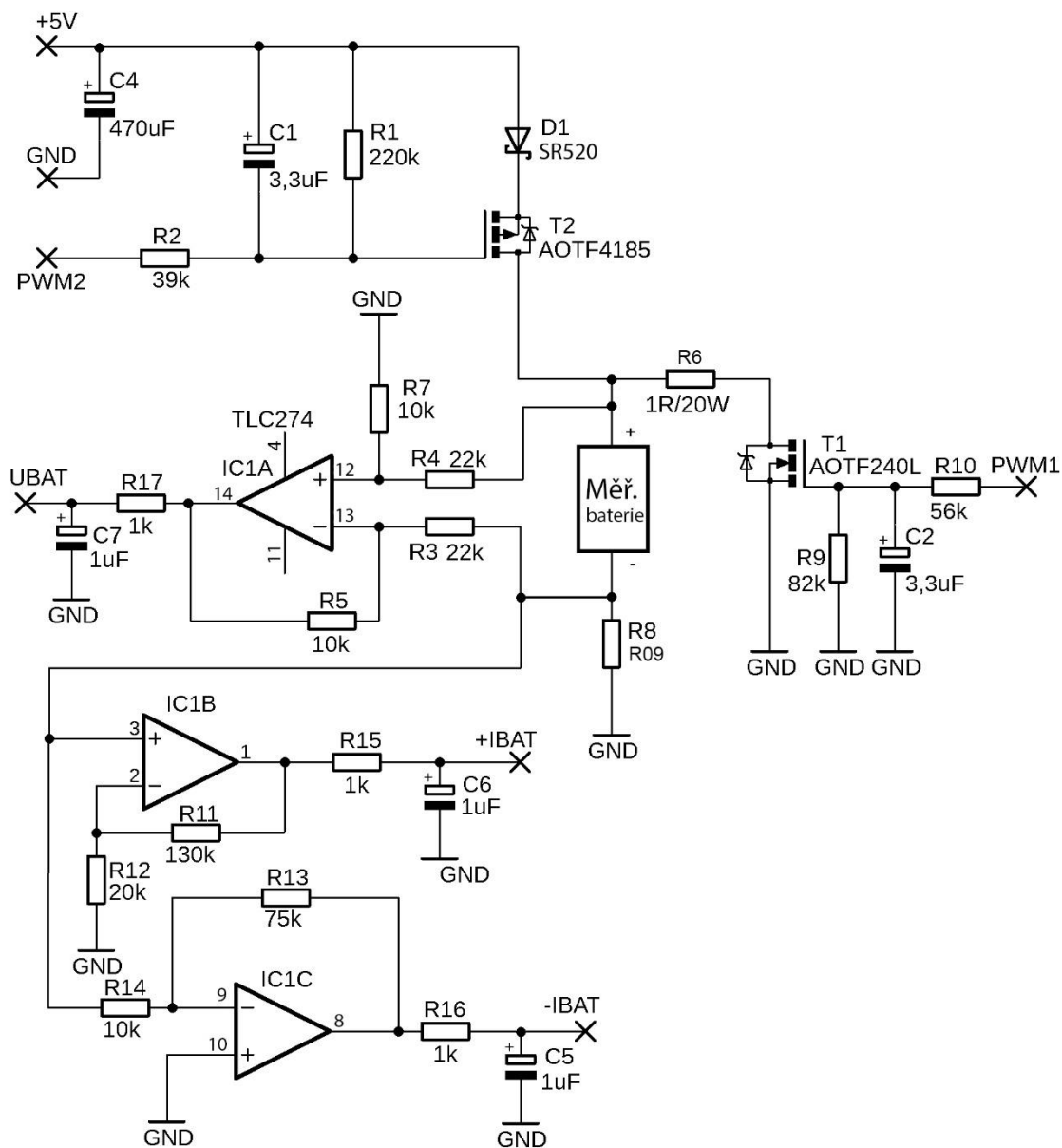
Obr. 3-1 Platforma Arduino Uno

3.3. Blokové schéma celkového zařízení



Obr. 3-2 Blokové schéma celkového zařízení

3.4. Schéma interface pro nabíjení a vybíjení akumulátoru spolu s měřením proudu a napětí



Obr. 3-3 Schéma interface pro nabíjení a vybíjení akumulátoru

3.5. Návrh měření napětí baterie

Měření napětí je důležité pro správnou funkci měřiče při vybíjení, ale hlavně při nabíjení baterií a také pro informativní účely, kdy se dá podle napětí baterie odhadovat stav jejího vybití (nabíjení). Při vybíjení baterií se nesmí napětí dostat pod určitou hladinu, protože by se mohla baterie poškodit a při nabíjení se zase nesmí napětí dostat nad

maximální hodnotu nabíjecího napětí, jinak by se baterie přebíjely a tím by se poškozovaly, proto je zapotřebí přesného měření napětí na bateriích.

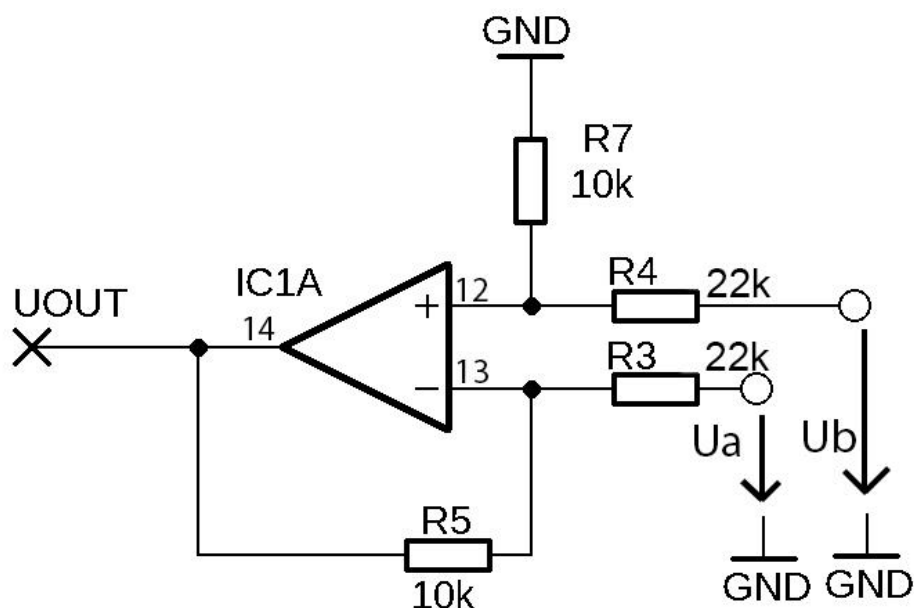
Na měření napětí je v zařízení použito diferenciální zapojení operačního zesilovače TLC274 (IC1A). Tohle zapojení je zvoleno ze dvou důvodů. První je z důvodu zapojení bočníku mezi zem a měřený článek (proto zde není použit odporový dělič napětí). Druhý důvod je zvětšení napěťového rozsahu tak, aby bylo možné měřit i dvoučlánkové Li-Ion baterie nebo modelářské Li-pol akumulátory (7,4 V).

Vzhledem k tomu, že při měření napětí s defaultním 10 bitovým AD převodníkem Arduina nebylo dosaženo uspokojivé přesnosti, je použit externí 16 bitový převodník, u kterého je nastavena napěťová reference na 4,096 V. Je zapotřebí vypočítat hodnoty dělicích rezistorů tak, aby i při měření baterií o jmenovitém napětí 7,4 V (jmenovité napětí je sice 7,4 V, ale plně nabité baterie mají napětí okolo 8,4 V), bylo na výstupu OZ napětí menší než 4,096 V.

U tohoto diferenciálního zapojení OZ volíme hodnoty odporů, aby se v obou větvích rovnaly. V tomhle případě $R_5 = R_7$ a $R_3 = R_4$. Výstupní napětí se vypočítá podle následujícího vztahu. Kde platí $U_{bmax} = 8,4$ V, $U_a = 0$ V a R_5 a R_7 zvoleno $10\text{ k}\Omega$.

$$U_{Out} = \frac{R_5}{R_3} \cdot (U_b - U_a) = \frac{10 \cdot 10^3}{22 \cdot 10^3} \cdot (U_b - U_a) = \frac{1}{2,2} \cdot (U_b - U_a) \quad (3.1)$$

Hodnota rezistorů R_3 a R_4 je tedy $22\text{ k}\Omega$.



Obr. 3-4 Diferenciální zapojení OZ

3.6. Návrh měření proudu

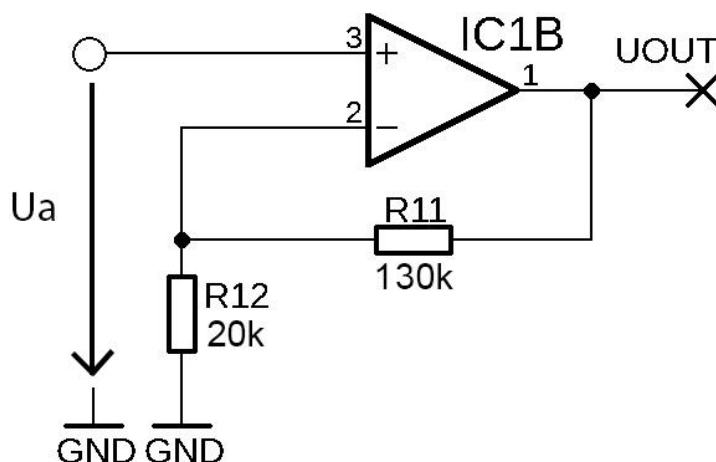
Pro měření kapacity baterie je nutné znát vybíjecí proud a dále i proud při nabíjení, kdy baterie požadují udržovat tento proud konstantní. Pro měření těchto proudů je použit bočník R8 v záporné větvi. Hodnota bočníku je zvolena $0,09 \Omega$, kdy tento bočník je složen ze dvou paralelně zapojených rezistorů o hodnotě $0,18 \Omega$, každý s výkonem 2 W (z důvodu aktuální nedostupnosti odporu s hodnotou $0,1 \Omega$), kdy celkový výkon je 4 W . Tato hodnota je předimenzována (viz. Kapitola 3.7.1), kvůli aktuální nedostupnosti jednoho $0,1 \Omega$ rezistoru. Napětí z bočníku, je dále zesilováno operačními zesilovači. Pokud měříme proud při nabíjení baterie, tak měřený proud prochází z kladného pólu baterie do záporného pólu baterie, tím je nabíjecí proud kladný a pro zesílení využíváme neinvertující zapojení OZ (IC2A). Pokud chceme měřit kapacitu baterie, tak proud teče z baterie do rezistoru R6 a tranzistoru T1. Napětí na bočníku je záporné. Jelikož Arduino neumí zpracovávat záporné napětí, je zde použito invertující zapojení OZ, které otáčí fázi o 180° a zesiluje toto napětí.

Jelikož měření proudu je z důvodu rychlosti regulace převáděno interním 10 bitovým AD převodníkem Arduino, proto jsou zesílení operačních zesilovačů spočítána tak, aby napětí na výstupech těchto OZ při maximálním proudu 3 A nepřekročila externí referenční napětí Arduino tedy $2,5 \text{ V}$.

Napěťové zesílení neinvertujícího zapojení OZ:

$$Au = 1 + \frac{R_{11}}{R_{12}} = 1 + \frac{130 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} = 1 + 6,5 = 7,5 \quad (3.2)$$

$$U_{out} = Au \cdot U_a = 7,5 \cdot U_a \quad (3.3)$$

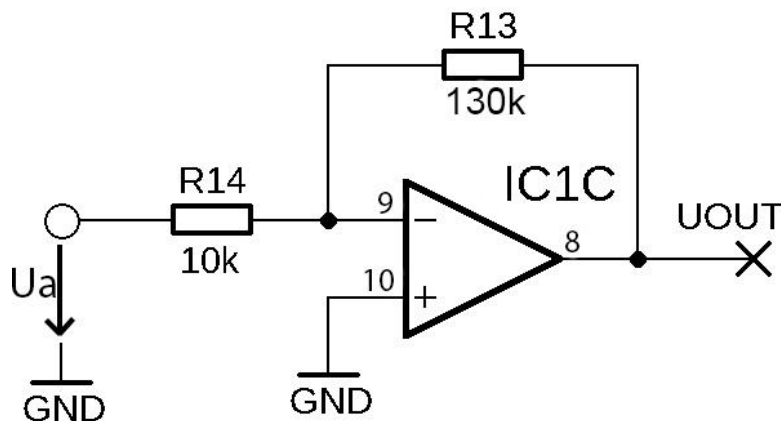


Obr. 3-5 Neinvertující zapojení OZ

Napěťové zesílení invertujícího zapojení OZ:

$$Au = \frac{R_{13}}{R_{14}} = \frac{75 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 7,5 \quad (3.4)$$

$$U_{out} = -Au \cdot U_a = -7,5 \cdot U_a \quad (3.5)$$



Obr. 3-6 Invertující zapojení OZ

3.7. Měření kapacity baterie

Určení kapacity baterie vychází ze základního vzorce pro výpočet kapacity:

$$Q = I \cdot t \quad (3.6)$$

Kde Q – kapacita [Ah], I – proud [A], t - čas [h]

Energie baterie se určí následovně:

$$E = Q \cdot U \quad (3.7)$$

Kde E – el. energie [Wh], Q – kapacita [Ah], U – napětí [V]

Měření kapacity baterie je možné ve třech režimech: konstantní proud, konstantní výkon a konstantní odpor. Proud v jednotlivých režimech se určí následovně:

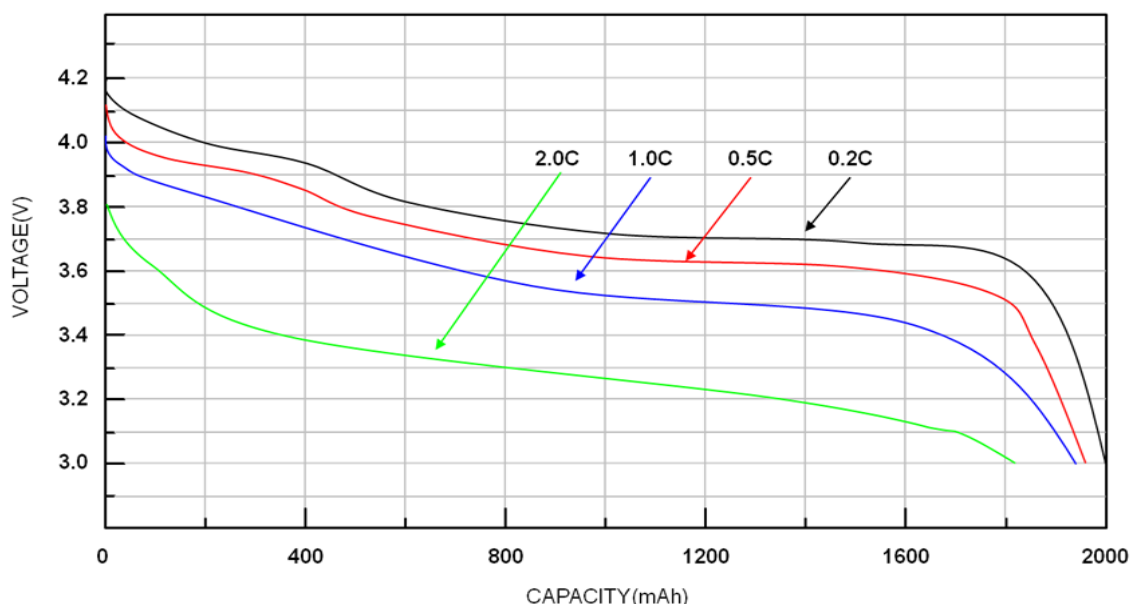
- Konstantní proud $I = \text{konst.}$
- Konstantní výkon $I = P_{\text{konst}}/U$
- Konstantní odpor $I = U/R_{\text{konst}}$

Pro určení kapacity baterie je zapotřebí měřit proud a čas, za kterého dojde k poklesu napětí baterie na předem nastavenou úroveň. Tuto minimální úroveň napětí je možno

nastavit před každým vybíjením, protože existuje spousta druhů baterií a u každé může být minimální úroveň napětí jiná.

Při vybíjení baterií je důležitá velikost vybíjecího proudu, protože pokud je vybíjecí proud příliš velký, energie dodaná baterií bude nižší než při vybíjení menším proudem, jak zobrazuje následující graf (Obr. 3-7, kde plocha pod křivkou vyjadřuje energii dodanou baterií (Wh)).

Proto zařízení disponuje výběrem režimu měření kapacity, kde si uživatel nastaví požadované parametry vybíjení. V režimu měření konstantním proudem je nastavovaný parametr vybíjecí proud (A). V režimu konstantní odpor nebo výkon je uživatelem nastavovaný parametr odpor (Ω) nebo výkon (W) a s poklesem napětí na baterii, je regulátorem nastaven proud, aby požadovaná veličina byla konstantní.



Obr. 3-7 Vybíjecí charakteristika Li-Ion baterie [32]

Vybíjecí proud je řízen tranzistorem T1 AOTF240L. Ve vybíjecím obvodu je zařazen výkonový odpor R6 (1 Ω / 20 W) který převzme část ztrátového vybíjecího výkonu. Tranzistor pracuje ve spojitém režimu – řídicí napětí se získá filtrací PWM výstupu Arduina.

3.7.1 Výkonové dimenzování

Měřič je určen pro testování baterií s maximálním napětím 8,4 V. Maximální vybíjecí proud jsou 3 A (Pro většinu baterií je to 1 C), maximální výkon baterie se určí následovně:

$$P_c = U \cdot I = 8,4 \cdot 3 = 25,2 \text{ W} \quad (3.8)$$

Výkon, který se přemění v teplo na výkonovém rezistoru R6, se určí podle Joulova vztahu:

$$P_{R6} = R \cdot I^2 = 1 \cdot 3^2 = 9 \text{ W} \quad (3.9)$$

výkon na bočníku R8 se určí stejně:

$$P_{R8} = R \cdot I^2 = 0,09 \cdot 3^2 = 0,81 \text{ W} \quad (3.10)$$

Jelikož se již ve vybíjecí smyčce nenachází žádný spotřebič, je zbylý výkon (při zanedbání ztráty výkonu na cestách DPS) vyzářen v teplo tranzistorem T1 AOTF240L.

$$P_{T1} = P_c - P_{R6} - P_{R8} = 25,2 - 9 - 0,81 = 15,39 \text{ W} \quad (3.11)$$

Pro baterie, na které je zařízení primárně určeno se maximální ztrátový výkon na tranzistoru určí jinak a to následovně:

$$\begin{aligned} P_{TR} &= (U_{BAT} - \Delta U_{R6} - \Delta U_{R8}) \cdot I_{VYB} = \\ &= U_{BAT} \cdot I_{VYB} - R_6 \cdot I_{VYB}^2 - R_8 \cdot I_{VYB}^2 \end{aligned} \quad (3.12)$$

Problém je v tom, že největší ztráty na tranzistoru nebudou při maximálním vybíjecím proudu, ale je třeba tenhle proud určit. Proto se musí rovnice (3-12) derivovat podle proudu a dostaneme rovnici na výpočet proudu, při kterém jsou ztráty na tranzistoru největší. Po derivování se dostane následující rovnici:

$$I_{VYB} = \frac{-U_{BAT}}{(-2 \cdot R_6 - 2 \cdot R_8)} = \frac{-4,2}{(-2 \cdot 1 - 2 \cdot 0,09)} = 1,93 \text{ A} \quad (3.13)$$

Maximální ztrátový výkon na tranzistoru T1 je podle rovnice (3-11)

$$P_{TRT1} = 4,2 \cdot 1,93 - 1 \cdot 1,93^2 - 0,09 \cdot 1,93^2 = 4,05 \text{ W}$$

Při nabíjení jsou na tranzistoru T2 největší ztráty při nabíjení NiMH baterií. Kdy na tranzistoru vznikne úbytek napětí přibližně 3,5 V (s počítáním napájecího napětí 5 V,

napětí vybité NiMH je přibližně 1 V a s úbytkem 0,5 V na Schottkyho diodě D1). Při nabíjecím proudu 2 A na tranzistoru vznikne ztrátový výkon:

$$P_{TRT2} = U \cdot I = 3,5 \cdot 2 = 7 \text{ W} \quad (3.14)$$

Určení tepelného odporu chladiče se určí následovně a bude se určovat pro tranzistor T2, který má větší ztrátový výkon a také větší tepelný odpor $R_{\theta(j-c)}$ a to max. 4,5 K/W a tepelný odpor $R_{\theta(c-h)}$ je zanedbán. Teplota čipu $T_{jmax} = 120^\circ\text{C}$ (volíme ze zkušenosti nižší, než uvedenou teplotu T_{jmax} v datasheetu – především z důvodu delší životnosti polovodičů) a teplota okolí T_0 je stanovena na 30°C .

$$R_{\theta H} = \frac{T_{jmax} - T_0}{P_{TRT2}} - R_{\theta(j-c)} = \frac{120 - 30}{7} - 4,5 = 8,35 \text{ K/W} \quad (3.15)$$

Proto má zvolený chladič s rezervou tepelný odpor 7 K/W.

Tranzistor T1 AOTF240L má ztrátový výkon při 100°C 20 W, tranzistor T2 AOTF4185 má při 120°C na výkon 12 W.

Oba tranzistory jsou umístěny na jednom chladiči, protože jsou v izolovaném pouzdru TO-220F a nikdy se nenabíjí a vybíjí baterie zároveň, takže nemůžou být v sepnutém stavu oba dva tranzistory zároveň.

Aktuálně jsou tedy tranzistory namontovány na chladiči, který je dostatečný na měření NiMH baterií a jednočládkových Li-ion baterií, pro které je hlavně zařízení navrženo. Bez přídavného aktivního chlazení nedokáže uchladiť následující maximální výkon po celou dobu měření dvoučládkových baterií nebo Li-pol baterií. Aktuálně bez dodatečných úprav lze měřit tyhle baterie pouze při sníženém vybíjecím proudu 1,5 A, případně by šlo měřit teplotu chladiče a podle toho přizpůsobovat velikost vybíjecího proudu. Ale nejjednodušší variantou je zvolit větší chladič či přídavné aktivní chlazení.

3.8. Nabíjení baterií

Aby bylo zařízení kompaktnější, dokáže nabít baterie typu NiMH a Li-Ion. Maximální nabíjecí proud je nastaven na 2 A, proto je nutné zařízení napájet z USB zdroje s dostatečným výkonem. V případě napájení zdroje s menším výkonem se nastaveného maximálního proudu nedosáhne.

Nabíjení je realizováno pomocí tranzistoru T2 AOTF4185, který pracuje ve spojitém režimu – řídicí napětí se získá filtrací PWM výstupu Arduina. Pro nabíjení NiMH a Li-ion baterií platí určitá pravidla, která jsou zmíněna v teoretické části. Baterie typu Li-ion požadují pro své nabití nejprve dodávání konstantního proudu. Poté požadují dodávání konstantního napětí.

Pro nabíjení NiMH je důležité vyhodnocení nabití. V navrhovaném zařízení je vyhodnocování nabití založeno na metodách: -dV a zároveň TCO, tedy překročení zadané teploty.

Jelikož při nabíjení baterií teče proud opačným směrem než proud vybíjecí, proto je použit upravený regulátor pro vybíjecí proud. A dále je potřeba hlídat nabíjecí napětí. Tyto požadavky (změny) jsou rozebrány ve 4. kapitole.

3.9. Měření teploty baterie

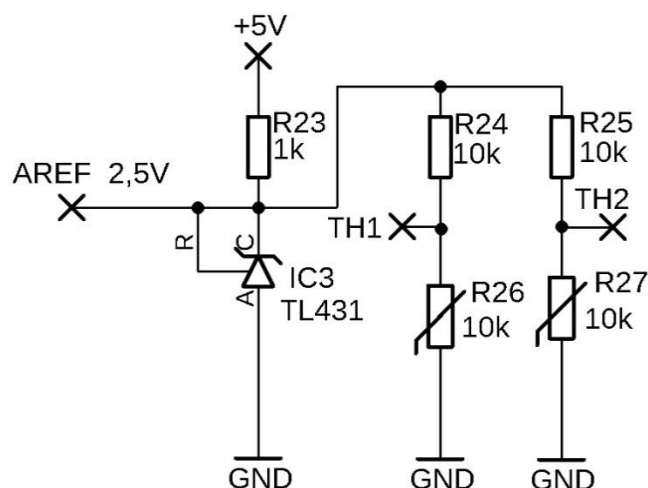
Jelikož jsou baterie náchylné na teplotu, je zapotřebí měřit jejich teplotu, aby nedošlo k jejich poškození či zničení.

Teplota je měřena pomocí miniaturních termistorů 103JT NTC s hodnotou odporu při 25 °C 10 kΩ, nalepených na spodní části držáků baterií (viz Obr. 3-8). Měření teploty u dvoučlánkových Li-ion a Li-pol baterií v navrhovaném zařízení se neprovádí z důvodu nejednotné patice, protože na každou baterii by se musel přilepovat pro každé měření zvlášť.



Obr. 3-8 Způsob uložení termistorů pro měření teploty baterií

Schéma měření teploty je následující.



Obr. 3-9 Schéma pro měření teploty

Jelikož se pomocí Arduina nedá přímo měřit elektrický odpor, je použita metoda převodu elektrického odporu na napětí, které je již schopno snímat Arduinem.

Obvod TL431 je zde použit z důvodu vytvoření přesné napěťové reference 2,5 V (U_0). Napětí U_0 je měření 16 bitovým převodníkem, pro větší přesnost určení teploty.

Rezistor R23 slouží k nastavení pracovního proudu TL431. Rezistory R24 a R25 je lepší volit vyšší hodnoty, aby do termistoru neprocházel „veliký“ proud, který by mohl způsobit ohřívání termistoru a tím negativně ovlivnit měření teploty.

Výpočet odporu R24 a R25 je následující a vychází z výpočtu děliče napětí:

Pozn.: Hodnota napětí U_2 je zvolena jako polovina rozsahu U_0 (2,5V), protože je při výpočtu uvažováno s odporem termistoru při teplotě 25 °C a při nižších teplotách je odpor větší, tak aby bylo možné měřit i tyto teploty. Hodnota napětí U_2 je tedy 1,25 V.

$$U_2 = U_0 \cdot \frac{R_{26}}{R_{24} + R_{26}} \quad (3.16)$$

$$R_{24} = R_{25} = \frac{R_{26} \cdot U_0}{U_2} - R_{26} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 2,5}{1,25} - 10 \cdot 10^3 = 10 \text{ k}\Omega \quad (3.17)$$

Určení hodnoty odporu termistoru Arduinem vychází z následujících rovnic pro dělič napětí.

$$U_1 = U_0 \cdot \frac{R_{24}}{R_{24} + R_{26}} \quad (3.18)$$

$$R_{26} = \frac{R_{24} \cdot U_0 - R_{24} \cdot U_1}{U_1} \quad (3.19)$$

$$\text{Kde ... } U_1 = U_0 - U_2$$

$$R_{26} = \frac{R_{24} \cdot U_0 - R_{24} \cdot (U_0 - U_2)}{(U_0 - U_2)} \quad (3.20)$$

Výpočet teploty v programu je stanoven z upravené Steinhartovy-Hartovy

Rovnice:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln\left(\frac{R_T}{R_0}\right) \quad (3.21)$$

Kde T... výsledná teplota [K]

T₀...nominální teplota termistoru [K]

B...koeficient termistoru

R_T...odpor termistoru [Ω]

R₀... nominální hodnota odporu při teplotě T₀ [Ω]

Následující veličiny jsou udány v technické dokumentaci daného termistoru.

3.10. Návrh desky plošných spojů

Při navrhování desky plošných spojů (DPS) byla snaha o jedno vrstvou a poměrně malou velikost desky. Rozmístění součástek je navrženo tak, aby signálové cesty byly co nejbližší měřenému objektu, a aby byly co nejkratší. Signálové země jsou pospojovány zvlášť a napájecí zem je vedena též zvlášť.

Pro vyfiltrování napájecího napětí je použit kondenzátor C5 s hodnotou 470 μ F. Pro snížení rušení operačních zesilovačů je použit blokovací kondenzátor C3 o velikosti 100nF. Na výstupu OZ jsou použity RC články pro vyfiltrování nežádoucího šumu na

vyšších frekvencích rušivých signálů s časovou konstantou menší než časová konstanta RC filtru, který je na řídicí elektrodě tranzistorů.

Pohled ze straný spojů a součástek se nachází v příloze.

3.11. Použité komponenty v zařízení

4.11.1 Keypad shield

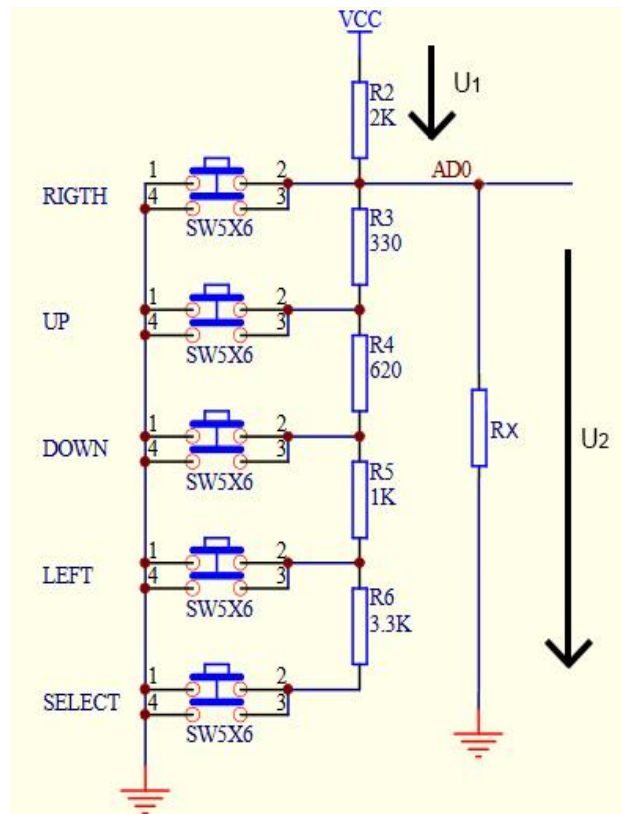
Tento kit určený především pro platformu Arduino obsahuje displej složený ze 16 sloupců a 2 řádku s 5 pěti tlačítky. Jsou to tlačítka s funkcí šipek (nahoru, dolů, doleva, doprava) a tlačítko select tedy volba. Díky těmto tlačítkům je schopen uživatel se pohybovat v menu a zvolit požadovanou možnost. Díky tomu, že má zvolená řídicí jednotka je Arduino Uno, stačí tento kit pouze na desku zasunout a je připojeno.

Tento modul je v navrhovaném zařízení použit, protože je to kompaktní zařízení obsahující displej zároveň s tlačítky, které jsou potřeba k určení o jaký typ baterií se jedná či o další výběr funkce a parametrů zařízení. Pro určení baterií by šlo použít také i porovnávání napětí jednotlivých napětí, když víme, že NiMH akumulátory pracují s napětím do 1,2 V a baterie Li-ion mají pracovní napěťový rozsah od 3 V do 4,2 V. Jenomže problém by nastal tehdy, pokud bychom do zařízení vložili úplně vybitou Li-ion baterii s napětím nižším než 1,2 V. Proto byla zvolena možnost zvolení druhu baterie uživatelem pomocí tlačítek na displeji.



Obr. 3-10 Keypad shield

Rozpoznání zvoleného tlačítka funguje na principu pěti stupňovitého napěťového děliče. Pro každé stlačené tlačítko odpovídá jiná hodnota napětí. Viz následující obrázek.



Obr. 3-11 Rozpoznání hodnoty tlačítek-LCD keypad -upraveno [34]

Problém spočívá v tom, že je LCD Keypad určen pro defaultní 5 V analogovou referenci a v mém případě je nastavena externí analogová reference z obvodu TL431, který je použit jako přesná napěťová reference při měření teploty na 2,5 V. Proto aby fungovala správně tlačítka, je potřeba upravit napětí z děliče. Je to vyřešeno přidáním rezistoru paralelně k výstupu AD0 a GND a tím dostaneme zatížený napěťový dělič (viz Obr. 3-11).

Výpočet paralelního odporu R_X :

Nejprve je třeba určit odpor paralelní kombinace odporu $R_{||}$, při které bude výstupní napětí menší než 2,5 V. Platí:

$$\begin{aligned} U_1 &\geq U_{CC} - U_2 \\ U_1 &\geq 5 - 2,5 \\ U_1 &\geq 2,5 \text{ V} \end{aligned} \tag{3.22}$$

$$U_1 \geq U_{CC} \cdot \frac{R_1}{R_{||} + R_1} \tag{3.23}$$

$$R_{||} \leq \frac{U_{CC} \cdot R_1}{U_1} - R_1 \tag{3.24}$$

$$R_{||} \leq \frac{5 \cdot 2 \cdot 10^3}{2,5} - 2 \cdot 10^3 = 2 \text{ k}\Omega$$

Aby bylo napětí U_2 menší než 2,5 V, musí být paralelní kombinace rezistorů méně než 2 k Ω . Jeden z těchto rezistorů je rezistor R_s , který je součtem sériově zapojených rezistorů $R_3+R_4+R_5+R_6$ (5250 Ω). Druhý paralelní rezistor je hledaný R_X , který se určí následovně:

$$\frac{1}{R_{||}} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_X} \quad (3.25)$$

$$R_X \leq \frac{R_{||} \cdot R_s}{R_s - R_{||}} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 5,25 \cdot 10^3}{5,25 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^3} = 3231 \Omega \quad (3.26)$$

Nejbližší nižší hodnota odporu z odporové řady je 3 k Ω . Proto je zvolena tato hodnota.

4.11.2 ADS1115 16 bit ADC

Vzhledem k nedostatečné přesnosti měření napětí při původním 10 bitovém převodníku, je využito externího 16 bitového převodníku ADS1115.



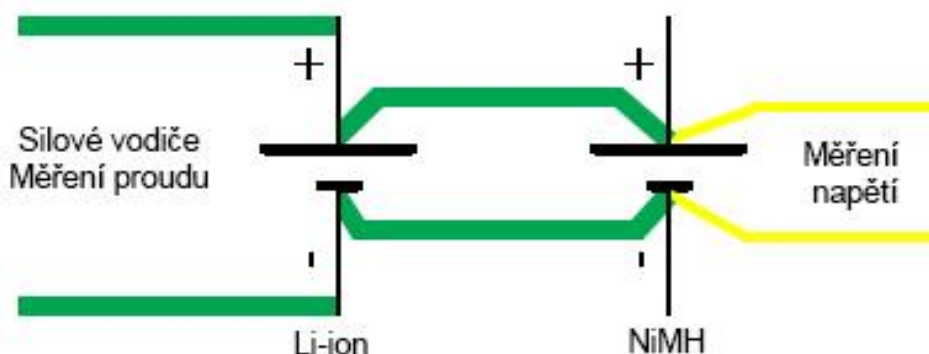
Obr. 3-12 Externí 16 bitový AD převodník ADS1115

ADS1115 je 16 bitový externí převodník analogového signálu na digitální. S Arduinem komunikuje pomocí sběrnice I2C. Je zvoleno defaultní zapojení pinu ADDR s GND, kdy je adresa 0x48.

I když je uváděno, že se jedná o 16 bitový převodník, ve skutečnosti se na měření podílí pouze 15 bitů a první bit nám poskytuje informaci o znaménku napětí. Převodník obsahuje 4 analogové vstupy. Na těchto vstupech jsou připojené tyto signálové vodiče: měřené napětí akumulátoru, termistory pro měření teploty a napěťová reference z obvodu TL431 (2,5 V) pro přesnější měření a přesnější výpočet teploty. Cena tohoto převodníku se v Čínských eshopech pohybuje okolo 40 Kč, což je velice přijatelná cena.

4.11.3 Připojení baterií

Jelikož je zařízení vyvíjeno primárně pro měření kapacity akumulátorů typu AA a 18650, tak jsou zde dva držáky těchto baterií. Aby bylo měření napětí na bateriích co nejpřesnější, je využito čtyřvodičového zapojení těchto držáků. Jelikož jsou držáky zapojeny paralelně vedle sebe je zapojení šesti vodičově.



Obr. 3-13 Způsob propojení patic baterií

Princip spočívá v tom, že je vždycky měřena pouze jednu baterie. Když je měřena Li-Ion baterii, tak zelenými (silovými) vodiči protéká zadaný proud, který zde vytvoří úbytek napětí. Napětí na Li-Ion baterii je měření pomocí zelených silových vodičů umístěných co nejbližší vývodům baterii a zároveň jsou spojeny s kontakty držáku NiMH baterií, také opět co nejbližší baterii a poté dovedeny na vstup diferenciálního OZ. Jelikož proud již prostředními silovými vodiči neteče a je umístěn blízko baterii, tak je při měření Li-Ion baterií využit jako signálový vodič. Když měříme NiMH baterii, tak zelenými vodiči protéká silový proud a žlutým je měřeno napětí. Prostředním zeleným vodičem tedy protéká buď silový proud nebo je použit při měření napětí na baterii, vždy záleží podle druhu měřené baterie.

Pokud chceme měřit dvoučlánekovou baterii nebo Li-pol baterii, tak většinou bývá problém v tom, že tyto baterie disponují velkým počtem lišících se typů konektorů a to by zařízení muselo mít hodně vývodů. Proto jsou zde nachystány svorky na připojení požadovaného konektoru. Jsou tedy zvlášť svorky pro signálové vodiče a silové vodiče.

4.11.4 Orientační Led

Pro větší přehlednost a možnost pozorování vybíjení/nabíjení baterií z větší vzdálenosti jsou zde zapojeny led diody, podle kterých na první pohled lze určit v jakém stavu se měřič nachází. Zařízení disponuje čtyřmi barvy LED.

1. Zelená LED – symbolizuje dokončení měření nebo nabíjení
2. Oranžova LED – symbolizuje proces měření nebo nabíjení
3. Červená LED – symbolizuje překročení nastavené teploty baterie při nabíjení či vybíjení

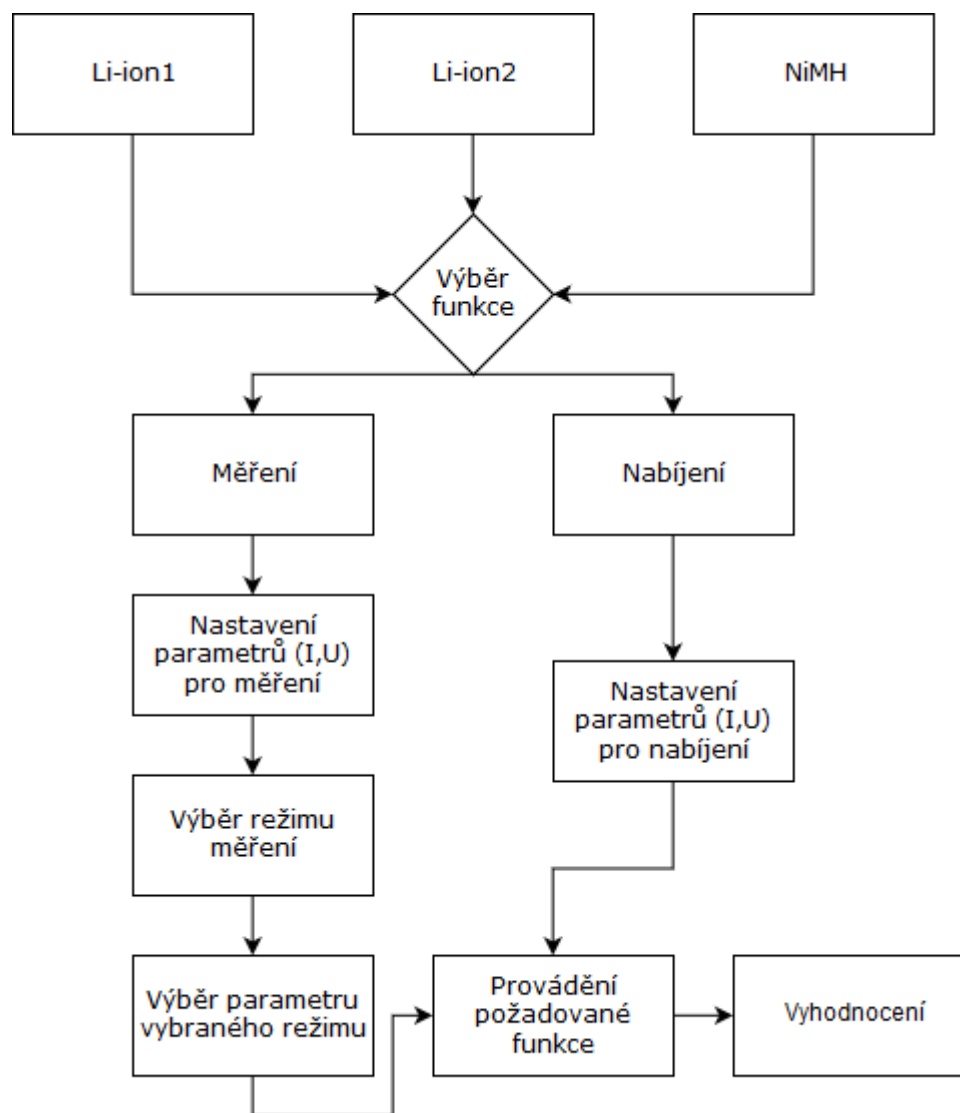
Jelikož nelze LED diody přímo připojit k pinu Arduina, musíme před LED diody zapojit předřadný odpor. Jeho hodnota se určí následovně, kdy úbytek napětí na diodě a proud diodou nalezneme v datasheetu použité LED diody. Jelikož jsou tyto vlastnosti zvolených diod podobné, platí tento výpočet pro všechny LED diody.

$$R = \frac{U_{cc} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{5 - 2}{0,02} = 150 \, \Omega \quad (3.27)$$

4. SOFTWAREVÁ ČÁST ZAŘÍZENÍ

4.1. Implementace softwaru

Program pro je napsán ve vývojovém prostředí Arduino IDE a obsahuje téměř 1400 řádků. Je napsán dle následujícího vývojového diagramu.

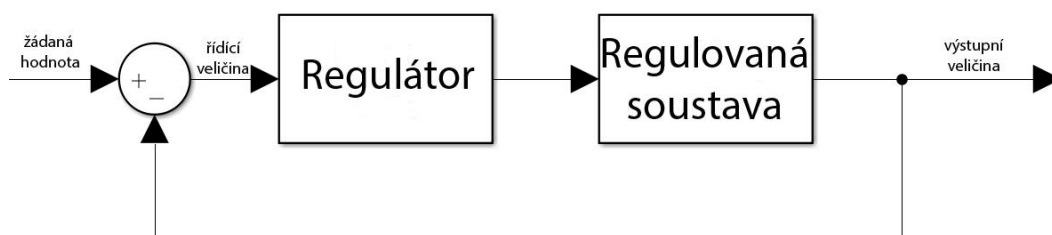


Obr. 4-1 Vývojový diagram

4.2. Proudový regulátor

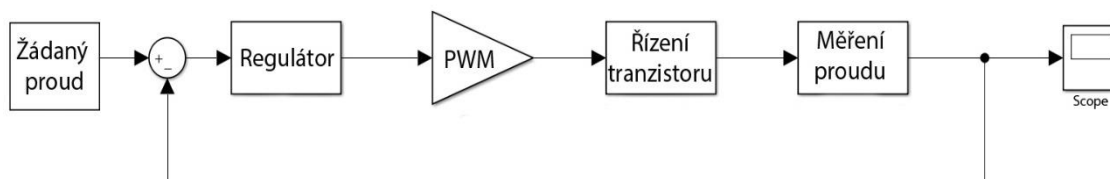
Jak již bylo zmiňováno, zařízení vybíjí baterie ve třech režimech, v kterých figuruje elektrický proud. Jelikož se při vybíjení baterie napětí zmenšuje, tak se při vybíjení do konstantní zátěže bude měnit podle Ohmova zákona i vybíjecí proud. Aby byl proud stále

konstantní po celou dobu měření v režimu konstantního proudu i při snižujícím se napětí, je třeba tento proud regulovat. Proto byl vytvořen následující proudový regulátor. Regulátor je navrhnut a otestován v programu Matlab Simulink a následně softwarově zakomponován do programu pro Arduino. Navrhovaný regulátor vybíjecího proudu vychází z následujícího principu řízení.



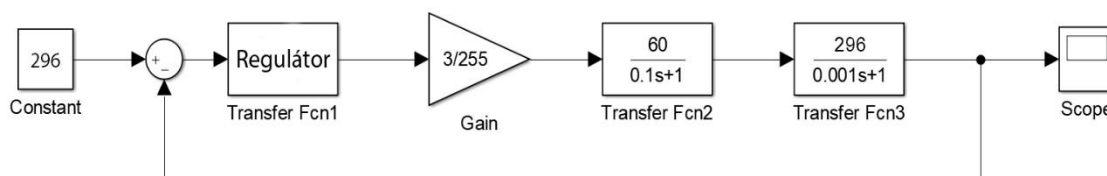
Obr. 4-2 Princip řízení

Kdy v tomto případě regulovanou soustavu tvoří následující objekty.



Obr. 4-3 Regulovaná soustava obecně

Po číselném dosazení:



Obr. 4-4 Regulovaná soustava číselně

Přenos u objektů se určuje následovně. U bloku „PWM“ číselník vyjadřuje maximální možný regulovaný proud v ampérech a jmenovatel maximální hodnotu PWM výstupu Arduina. V objektu „řízení tranzistoru“ vyjadřuje číselník strmost tranzistoru a jmenovatel časovou konstantu RC článku u řídicí elektrody tranzistoru. V posledním bloku hodnota číselníku (296) vyjadřuje hodnotu interního AD převodníku, která odpovídá v přepočtu 1 A. Jmenovatel vyjadřuje periodu vzorkování 1 kHz (1 ms), kterou zajišťuje funkce přerušení programu, v kterém je proudový regulátor realizován.

Přenos soustavy:

$$F_s = \frac{K_s}{(1 + p\tau_T) \cdot (1 + p\tau_M)} = \frac{\frac{3 \cdot 60 \cdot 296}{255}}{(1 + 0,1p) \cdot (1 + 0,001p)} \quad (4.1)$$

$$== \frac{209}{(1 + 0,1p) \cdot (1 + 0,001p)}$$

Regulátor je určen pomocí metody **Optimální modul (OM)**, protože se jedná o soustavu statickou.

$$F_r = F_{OM} \cdot \frac{1}{F_s} = \frac{1}{2 \cdot \tau_\sigma \cdot p \cdot (\tau_\sigma p + 1)} \cdot \frac{(1 + p\tau_T) \cdot (1 + p\tau_M)}{K_s} \quad (4.2)$$

Nahradíme časovou konstantu τ_σ , menší z obou časových konstant, tedy τ_M .

$$F_r = \frac{1}{2 \cdot 0,001 \cdot p \cdot (1 + 0,001p)} \cdot \frac{(1 + 0,1p) \cdot (1 + 0,001p)}{203} \cong \frac{(1 + 0,1p)}{0,42p}$$

Aby mohl být vypočítaný regulátor naprogramován, je třeba upravit spojitý regulátor na číslicový diskretní regulátor. V prvním kroku je regulátor rozložen na Proporciální (P) a Integrovní (I) složku.

$$F_r \cong \frac{(0,1p + 1)}{0,42p} = 0,238 + \frac{1}{0,42p}$$

Upravená diferenční rovnice pro uzavřený tvar diskretního regulátoru je následující

$$u[k] = u[k - 1] + y_0 \cdot e[k] - y_1 \cdot e[k - 1] \quad (4.3)$$

$$\text{Kde } y_0 = Kp + \frac{T}{Ti} = 0,238 + \frac{0,001}{0,42} = 0,24$$

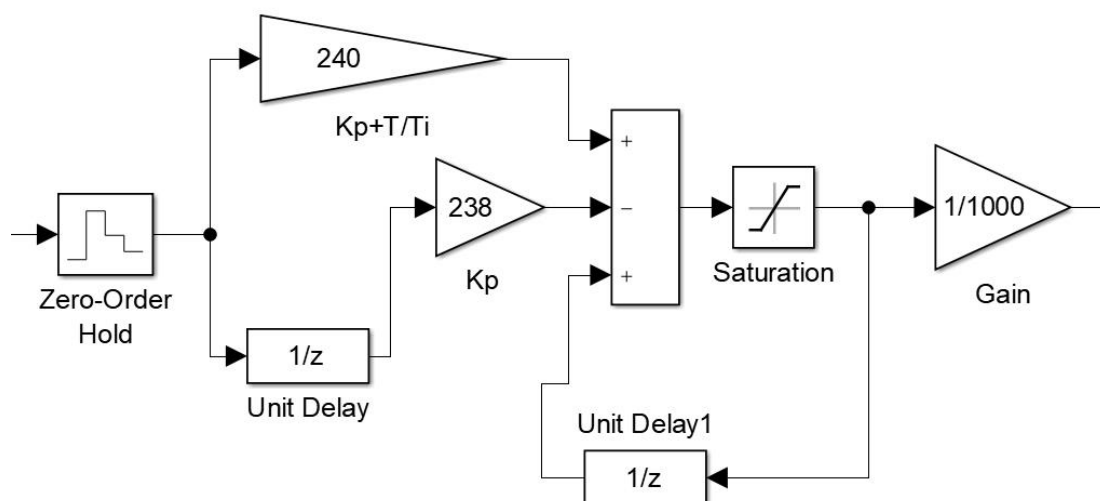
$$y_1 = Kp = 0,238$$

Kp ... zesílení regulátoru

T ... perioda vzorkování 1 ms

Ti ... časová konstanta integračního regulátoru

Blok regulátoru je tedy upraven pomocí rovnice (4.3) do následujícího tvaru, kdy je tento tvar již zakomponován do programu pro Arduino. Ještě je zde provedena matematická úprava, kdy jsou členy y_0 a y_1 nejprve vynásobeny 1000 a poté vyděleny 1000, z důvodu z důvodu použití celočíselné aritmetiky.



Obr. 4-5 Finální diskrétní regulátor proudu

Regulátor nabíjecího principu je stejný jako regulátor vybíjecího proudu, jediná změna je v nepřesnosti zpětnovazebních odporů neinvertujícího OZ, kdy je výsledné zesílení mírně jiné, než v zapojení s invertující OZ. Ovlivnilo to konstantu, která udává hodnotu z AD převodníku představující hodnotu 1 A, kdy v následujícím případě 1 A odpovídá hodnotě 304. Díky tomu se bude výsledný regulátor mírně lišit, ale výpočet je stále stejný, jako pro regulátor vybíjecího proudu. Poslední změna spočívá v tom, že je pro nabíjení použit tranzistor typu PMOS, kdy je třeba pro jeho otevření záporné napětí U_{GS} , na rozdíl od vybíjecího tranzistoru, který je technologie NMOS.

4.3. Napěťová regulace

Pro nabíjení Li-Ion baterií, je třeba udržovat konstantní napětí. V zařízení je to realizováno tak, že je před proudový regulátor zapojen regulátor napěťový, takže to pracuje v kaskádním režimu, kdy napěťového regulátor je nadřazený proudovému.

Pro nabíjení NiMH baterií, je pro jednoduchost využito principu dvoustavového řízení, pokud je žádána hodnota napětí větší, než měřená, tak je proud nastaven na hodnotu nabíjecího proudu. V opačném případě je nabíjecí proud nulový. Tím je zaručeno, že se při nabíjení nedostane na baterii napětí větší, než nastavené.

5. OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ ZAŘÍZENÍ

5.1. Vlastnosti a parametry zařízení

Navržené zařízení umožňuje měřit kapacitu všech typů baterií, které lze připojit k testeru, do maximálního napětí 9 V, které je určeno dělícím poměrem rezistoru u diferenciálního zapojení OZ. Primárně je ale zařízení určeno pro měření kapacity AA NiMH a článků Li-Ion typu 18650, pro které jsou namontovány patice. Také to nabíjí tyto baterie. Režimy měření jsou: Konstantní proud, výkon nebo odpor.

Specifikace zařízení:

Tabulka 5-1 Specifikace navrhovaného zařízení

Způsob napájení a napájecí napětí	Micro USB – 5 V
Rozsah napětí pro měření kapacity baterií	0 - 9 V
Rozsah napětí pro nabíjení baterií	0 – 4,5 V
Rozsah vybíjecího proudu *	0-3 A
Rozsah nabíjecího proudu (Dáno napájecím zdrojem)	omezeno na 2 A
Přesnost měření napětí	0,1 %
Rozlišení	0,3 mV
Přenos měření proudu	0,33 %
Rozlišení	3 mA

- U NiMH baterií, je maximální vybíjecí proud dán Ohmovým zákonem, kdy je výkonový vybíjecí odpor 1 Ω . Většinou max. 1 A, aby byl dodržen konstantní proud po celou dobu měření.

5.2. Testování baterií

Za účelem ověření funkčnosti je měřena kapacita baterie ze zástupců baterií Li-Ion – Panasonic NCR18650A. Udávána kapacita baterie je 2900 mAh.

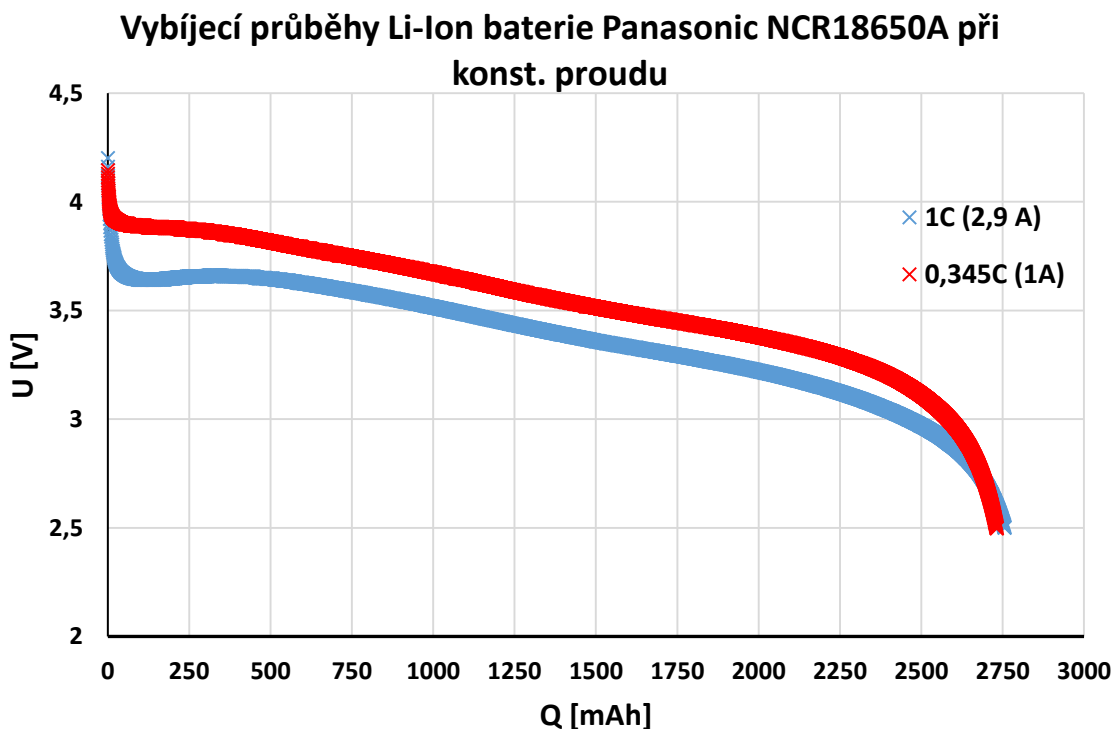


Obr. 5-1 Testovaná Li-Ion baterie Panasonic NCR18650A

Je vhodné zmínit, že se nejedná o novou baterii, ale již používanou. Je to důležité, protože jak se lze dočíst v datasheetu baterie, je kapacita závislá na počtu cyklů. Dále je rozhodující její stav nabití, případně čas od nabití, kvůli jevu samovybíjení, velikost vybíjecího proudu a přesnost měření proudu a případně času, z kterého je kapacita počítána.

Všechna měření probíhala při pokojové teplotě cca. 20 °C a v režimu konstantní proud.

Kapacita změřená při proudu 1 C byla 2756 mAh a energie dodaná baterií byla 9,3 Wh. Při proudu 0,345 C byla kapacita 2732 mAh a energie 9,6 Wh.



Obr. 5-2 Graf vybíjecí průběhy testované Li-ion baterie

Další testovaná baterie je z řady NiMH a to velikosti AA Varta RECHARGE ACCU s udávanou kapacitou 2100mAh. Zde se jedná o novou baterii.

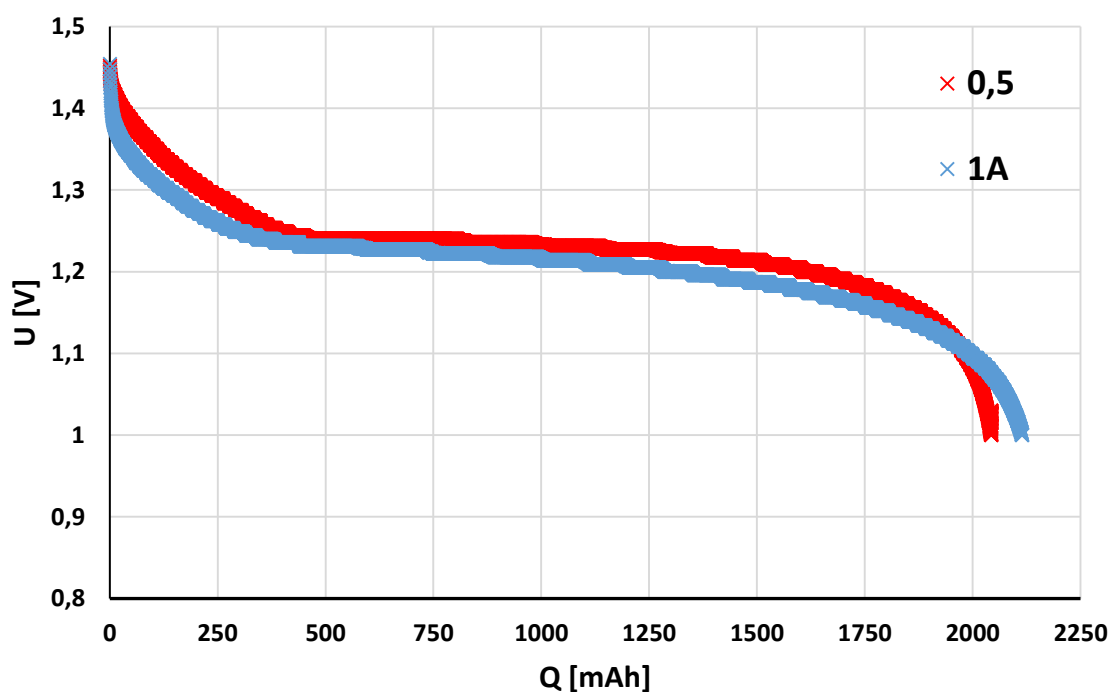


Obr. 5-3 Testovaná NiMH AA baterie Varta

Jelikož byla baterie READY2USE, tak první měření proběhlo bez nabití, a tak při proudu 0,5 A ($\approx 0,25$ C) byla výsledná kapacita 2043 mAh a energie 2,5 Wh.

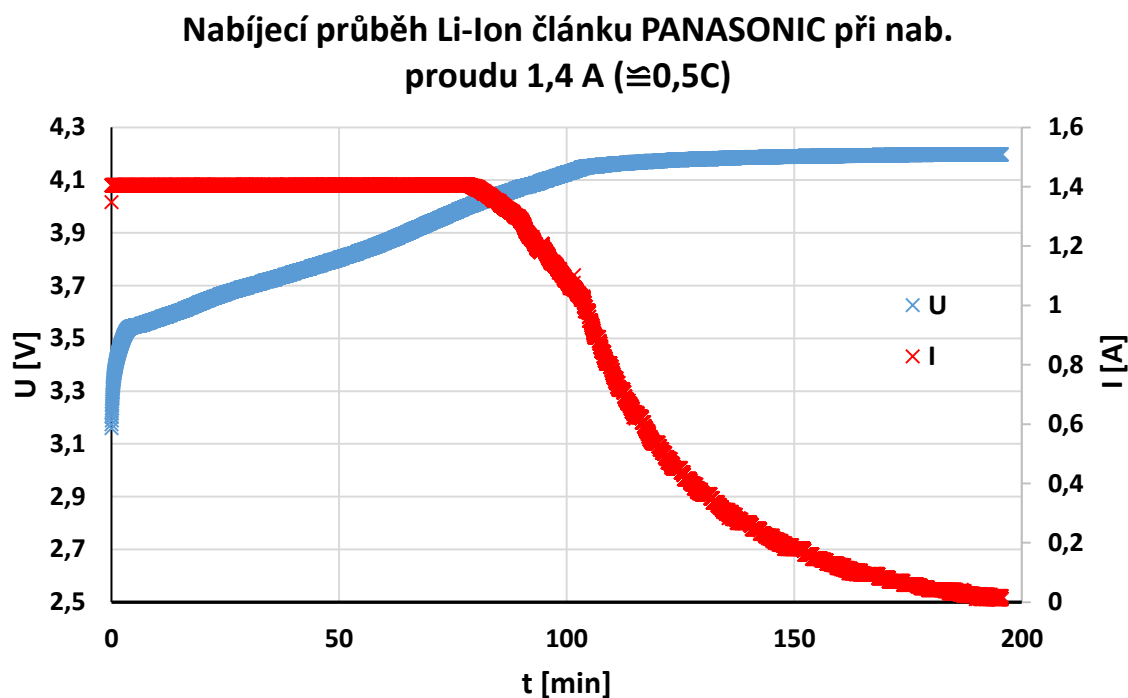
Kapacita změřená při proudu 1 A ($\approx 0,5$ C) byla 2114 mAh a energie dodaná baterií byla 2,5 Wh.

Vybíjecí průběhy NiMH AA článku VARTA při konst. proudu

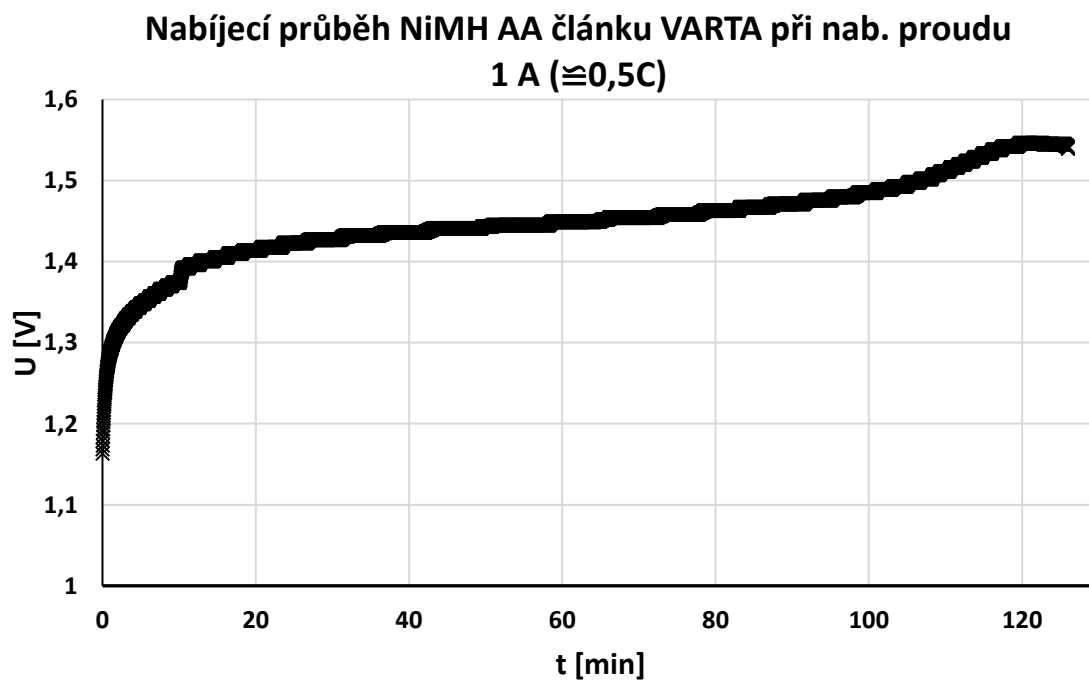


Obr. 5-4 Graf vybíjecí průběhy testované NiMH baterie

Ještě pro ukázkou, nabíjecí průběhy obou baterií.

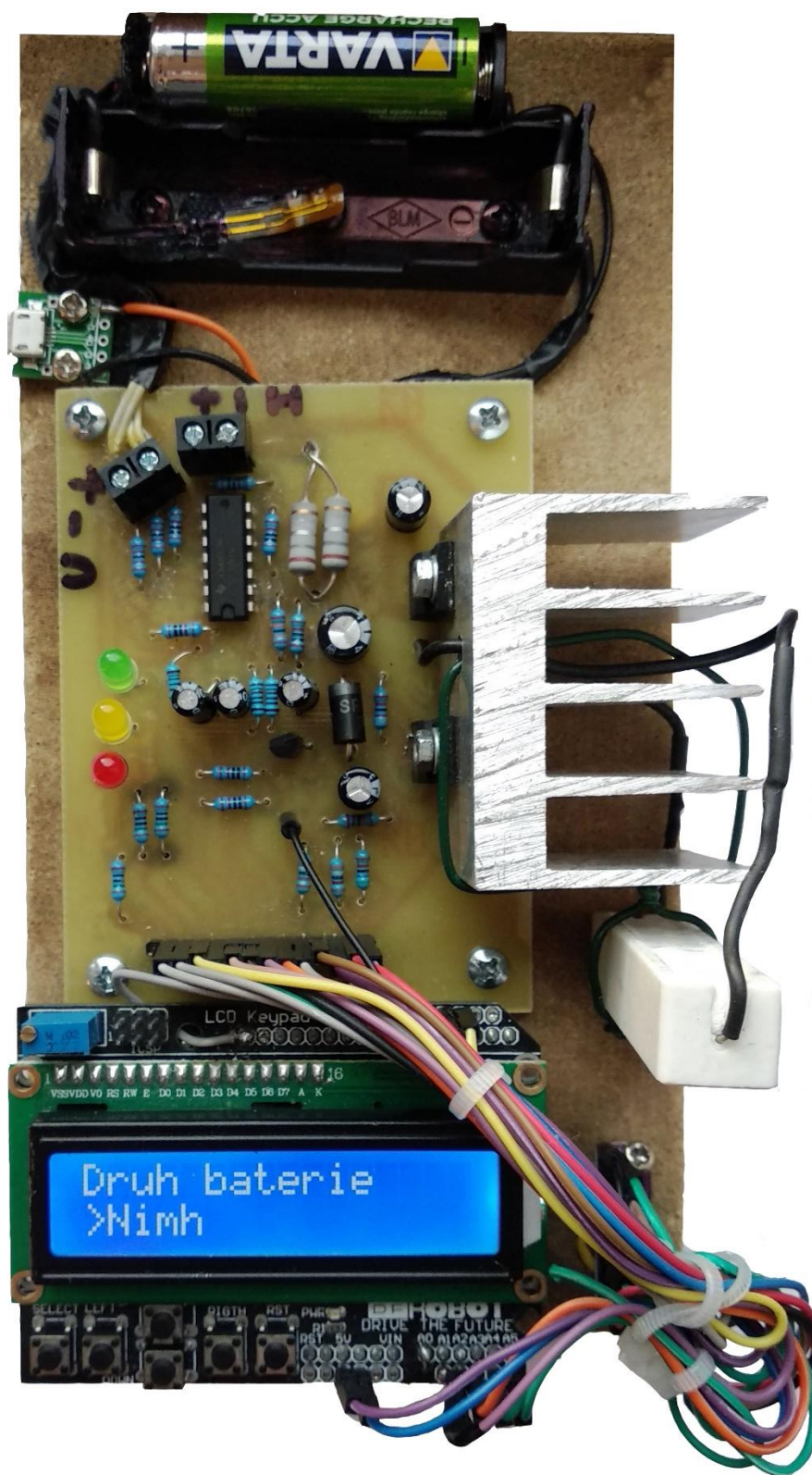


Obr. 5-5 Graf nabíjecí průběh testované Li-Ion baterie



Obr. 5-6 Graf nabíjecí průběh testované NiMH baterie

5.3. Celkový vzhled zařízení



Obr. 5-7 Fotografie zařízení

6. ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce je zpracován teoretický rozbor elektrochemických zdrojů energie a praktický návrh zařízení s jeho následným oživením. V první části je zpracováno základní rozdělení a popis nejběžněji používaných baterií. Zmínka je i o jejich vlastnostech a typickém použití. Je zde rozebrána problematika nabíjení NiMH a Li-Ion baterií. Na konci teoretické části je udělána informativní tabulka o přehledu základních vlastností nejčastěji používaných baterií.

Základem navrženého měřiče kapacity (s možností nabíjení NiMH a Li-Ion) je řídicí jednotka Arduino Uno, ke které je navržen měřicí a výkonový interface. Pro ovládání zařízení a zobrazování výsledků slouží univerzální LCD keypad shield s tlačítky.

Následuje popis navrženého měřicího a výkonového interface, který obsahuje nabíjecí a vybíjecí obvody baterie a obvody pro snímání napětí, proudu a teploty. Je zde uveden podrobný návrh těchto obvodů.

Pro větší přesnost měření napětí měřené baterie, je použito externího 16 bitového převodníku ADS1115, který dosahuje rozlišení 0,3 mV. Proud je měřen interním 10 bitovým převodníkem modulu Arduina, s rozlišením 3 mA, z toho vyplývá, že přesnost měření napětí je po zkalibrování 0,1% a přesnost měření proudu 0,33 %, což je pro daný účel více než dostačující.

Řídicí jednotka s Arduinem, kromě měření, zobrazování a ovládání, reguluje nabíjecí a vybíjecí proud dle zvoleného měřicího režimu (konstantní proud, odpor nebo výkon) viz popis softwaru.

S aktuálně dimenzovaným chladičem, lze testovat NiMH a jednočláňkové Li-Ion baterie (pro které je zařízení primárně určeno) do vybíjecího proudu 3 A. V případě měření dvoučláňkové Li-Ion (případně modelářských Li-pol) baterií lze tyto baterie testovat pouze se sníženým vybíjecím proudem 1,5 A, pro větší proud by bylo nutno použít aktivní chlazení.

LITERATURA

- [1] BAGOCKIJ, Vladimir Sergejevič. *Elektrochemické zdroje proudu*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [2] MAREK, Jiří a Luděk STEHLÍK. *Hermetické akumulátory v praxi*. Praha: IN-EL, 2004. Elektro (IN-EL). ISBN 80-86230-34-1.
- [3] CENEK, Miroslav. *Akumulátory a baterie*. Praha: STRO.M, 1996.
- [4] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. 1. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-865-3403-0.
- [5] BU-106: Advantages of Primary Batteries. Battery University: Crash Course on Batteries [online]. 2017 [cit. 2018-10-07]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/primary_batteries
- [6] Leclanchéova baterie. In: Abeceda baterií a akumulátorů [online]. [cit. 2018-10-08]. Dostupné z: <http://www.battex.info/primarni-clanky-a-baterie/zinkove-primarni-clanky/leclancheova-baterie>
- [7] Fundamental electrochemistry of batteries [online]. [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: <http://www.enedu.org.tw/files/DownloadFile/20131010133038.pdf>
- [8] Zinkochloridová baterie. In: Abeceda baterií a akumulátorů [online]. [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: <http://www.battex.info/primarni-clanky-a-baterie/zinkove-primarni-clanky/zinkochloridova-baterie>
- [9] Alkalická baterie [online]. [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-/alkalicka-baterie.htm>
- [10] Alkalické baterie. Abeceda baterií a akumulátorů [online]. [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <http://www.battex.info/primarni-clanky-a-baterie/zinkove-primarni-clanky/alkalicke-baterie>
- [11] SR (Silver Oxide Battery). Maxell for Business Search [online]. [cit. 2018-10-17]. Dostupné z: http://biz.maxell.com/en/primary_batteries/sr_coin.html
- [12] Lithium Primary Cells. Battery and Energy Technologies [online]. [cit. 2018-10-17]. Dostupné z: <https://www.mpoweruk.com/lithiumP.htm>
- [13] BU-106a: Choices of Primary Batteries. Battery University [online]. [cit. 2018-10-17]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/choices_of_primary_batteries
- [14] Cylindrical Primary Lithium. In: Energizer Technical Information [online]. [cit. 2018-10-20]. Dostupné z: http://data.energizer.com/pdfs/lithiuml91192_appman.pdf
- [15] AIFANTIS, Katerina E, Stephen Andrew HACKNEY a R. Vasant KUMAR. High energy density lithium batteries: materials, engineering, applications [online]. Weinheim: Wiley-VCH, c2010 [cit. 2018-10-23]. ISBN 978-3-527-32407-1.
- [16] Primary cells Lithium Thionyl Chloride (Li-SOCl₂). In: PowerTech Systems [online]. [cit. 2018-10-25]. Dostupné z:

- <https://www.powertechsystems.eu/home/products/primary-cells-lithium-thionyl-chloride-li-socl2/>
- [17] BU-201: How does the Lead Acid Battery Work?. In: Battery University [online]. [cit. 2018-10-25]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/index.php/learn/article/lead_based_batteries
 - [18] Galvanické články - fyzikální základy. In: SKUPINA ČEZ [online]. [cit. 2018-10-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/fyz2.htm>
 - [19] HUMLHANS, Jan. Inteligentní nabíječky s obvodů MAXIM pro řízení nabíjení akumulátorů NiCd, NiMH a Li-Ion. Praha: BEN - technická literatura, 2000. Navrhněte si. ISBN 80-86056-83-X.
 - [20] Nickel Cadmium Batteries. In: Battery and Energy Technologies [online]. [cit. 2018-10-27]. Dostupné z: <https://www.mpoweruk.com/nicad.htm>
 - [21] Commercial Galvanic Cells. In: Chemistry LibreTexts [online]. [cit. 2018-10-27]. Dostupné z: [https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Analytical_Chemistry\)/Electrochemistry/Exemplars/Commercial_Galvanic_Cells](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Electrochemistry/Exemplars/Commercial_Galvanic_Cells)
 - [22] BU-205: Types of Lithium-ion. Battery University [online]. [cit. 2018-11-06]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion
 - [23] BU-204: How do Lithium Batteries Work?. Battery University [online]. [cit. 2018-11-06]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries
 - [24] Nabíjecí průmyslová baterie 18650 Panasonic 3400mAh 3,7V Li-Ion [online]. In: . [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: <https://www.avacom.cz/nabijeci-prumyslova-baterie-18650-panasonic-3400mah-3-7v-liion>
 - [25] BU-409: Charging Lithium-ion. Battery University [online]. [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries
 - [26] BU-408: Charging Nickel-metal-hydride. Battery University [online]. [cit. 2018-11-07]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_nickel_metal_hydride
 - [27] Nabíjení hermetických NiMH akumulátorů. In: Abeceda baterií a akumulátorů [online]. [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nimh-akumulatoru>
 - [28] BU-107: Comparison Table of Secondary Batteries. Battery University [online]. [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries
 - [29] What is Arduino?. Arduino [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
 - [30] AN_8003. Microchip [online]. 2005 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/wwwAppNotes/AppNotes.aspx?appnote=en591540>

- [31] CR2032 Lithium Battery. Loxone [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://shop.loxone.com/cscz/cr2032-lithium-battery.html>
- [32] Richtek. Designing Applications with Li-ion Batteries [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.richtek.com/battery-management/en/designing-liion.html>
- [33] Primary Lithium thionyl chloride Battery C Size 3.6V 9.0 Ah , same as LS26500 and ER26500 etc with Wires (non Rechargeable) (DGR-A) [online]. In: . [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <https://rechargeablebatterystore.com/primary-lithium-thionyl-chloride-battery-c-size-3-6v-9-0-ah-same-as-ls26500-and-er26500-etc-with-wires-non-rechargeable-dgr-a/>
- [34] LCDKeypad Shield V1.0 SCH. *DFROBOT* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://image.dfrobot.com/image/data/DFR0009/LCDKeypad%20Shield%20V1.0%20SCH.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Li-Ion – Lithium-iontová baterie

NiMH – Nikl-metal hydridová baterie

Li-pol –Lithium-polymerová baterie

MnO₂ – Oxid mangančitý

KOH – Hydroxid draselný

AA – Tužková baterie

AAA – Mikrotužková baterie

18650 – Označení pro velikost baterie

-dV Ukončovací metoda při nabíjení NiMH baterií, při poklesu napětí

TCO Ukončovací metoda při nabíjení NiMH baterií, při překročení teploty

AD – Analogově digitální

ADC – Analogově digitální převodník

OZ – Operační zesilovač

PWM – Pulsně šířková modulace

USB – Univerzální sériová sběrnice,

NTC – Termistor s negativním teplotním činitelem

LCD – Displej z tekutých krystalů

I²C - Počítačová sériová sběrnice

LED – Světelná dioda

OM – Optimální modul

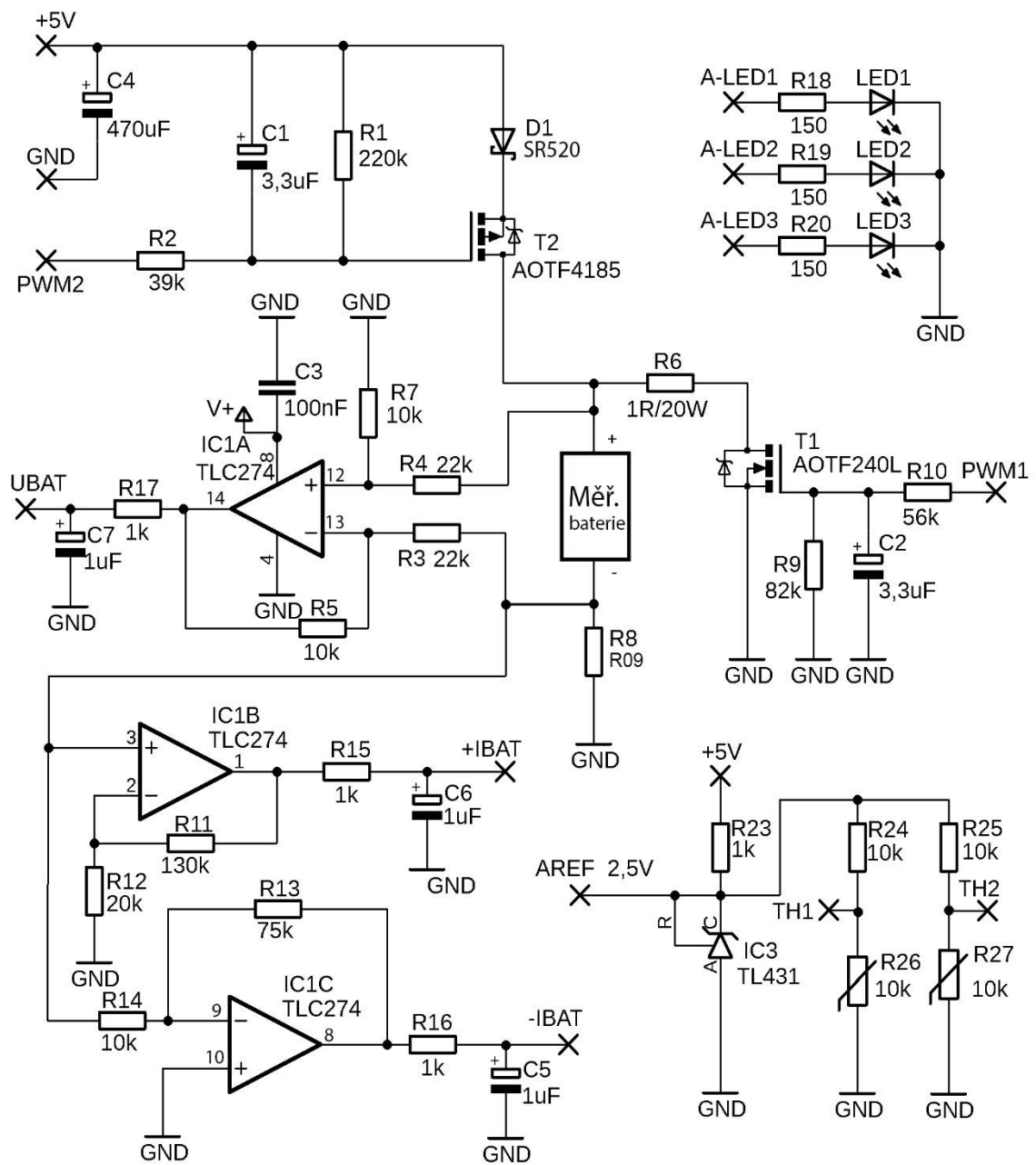
NMOS, PMOS – Technologie unipolárních tranzistorů

DPS – Deska plošných spojů

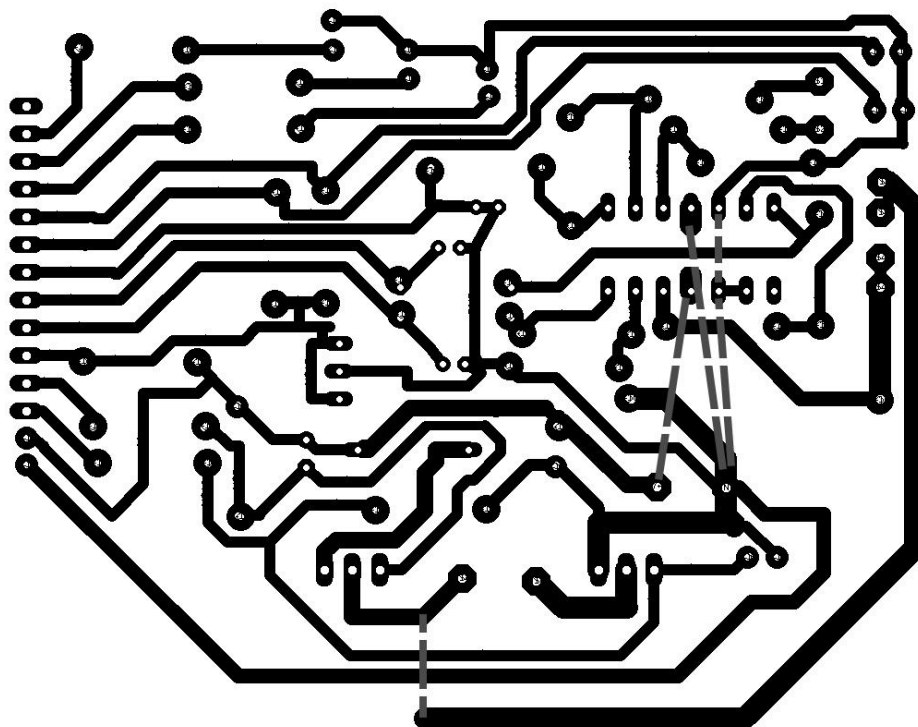
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Celkové schéma měřiče.....	57
Příloha 2 - DPS – Pohled ze strany spojů a součástek	58
Příloha 3 - Zdrojový kód programu je uložen na přiloženém DVD	

Příloha 1 - Celkové schéma měřiče



Příloha 2 - DPS – Pohled ze strany spojů a součástek



(šedá přerušovaná čára představuje propojky)

